INFLUENCIA DE LA PRESIÓN SOBRE LA TOPOGRAFÍA CORNEAL EN EL BUCEO

Autor: Pablo González Clavaín

-Directores:Mº Sol García Rubio, Fernando Pérez Camacho y Sergio Sánchez Sánchez

Trabajo fien de Master

Centreo de Optometría Internacional COI
Octubre 2011

Agradecimientos a:

Los buceadores y propietarios del club de buceo Almadraba y el club Bubbles por su ayuda desinteresada. A Conóptica por prestar los equipos. Al Centro de Optometría Internacional, a los directores de proyecto: Marisol García, Fernando Perez y Sergio Sanchez, a Jesus por las clases de comunicación, a Gonzalo por las de documentación y por último a Antonio Carrilo por su ayuda con el análisis estadístico

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

Índice

I- INTRODUCCIÓN 6

III- TEMÁTICA DE APROXIMACIÓN 8

Presión 8

Buceo 12

Historia del buceo 12

Características de la visión subacuática 23

Lesiones en el buceo 25

1- Modificación de parámetros fisiológicos. 26

2- Efectos de la presión: 26

3- Efectos bioquímicos 28

Riesgos asociados al buceo 31

Lesiones oculares en el submarinismo 34

Lesiones: 36

Debidas a la corrección óptica: 36

Córnea 39

Fisiología corneal 39

Propiedades biomecánicas de la córnea 41

Alteraciones biomecánicas en la cirugía refractiva 44

Otros factores que afectan a la biomecánica corneal 45

IV- MATERIAL Y MÉTODO 46

Material 46

Muestra 46

Instrumental 46

COI CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

Método 48

V- RESULTADOS 54

Tabla 1 54

Tabla 2 55

Tabla 3 56

Tabla 4 57

Tabla 5 58

Tabla 6 59

Tabla 7 60

Tabla 8 61

VI- DISCUSIÓN 83

1-Reproducibilidad del topógrafo 83

Análisis 83

Discusión 86

2-Área corneal analizada 87

Análisis 87

Discusión 90

3-Análisis de la existencia de moldeo corneal con la presión 91

Análisis de toda la muestra 91

Discusión del análisis para toda la muestra 96

Análisis del grupo 1 98

4-Análisis y discusión de la disminución del moldeo corneal con el tiempo 104

Análisis 104

Discusión 108

5-Análisis de la relación entre moldeo corneal central y periférico 109

Análisis 109

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Discusión 111

VII-CONCLUSIONES..... 112

VIII-BIBLIOGRAFÍA 114

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

I- INTRODUCCIÓN

El submarinismo es una actividad que cada día gana más adeptos, y no es por casualidad. La curiosidad humana, que no desea dejar ningún rincón por explorar, se aprovecha de los avances y reciente divulgación del submarinismo autónomo para echar una ojeada a lo que algunos llaman la última frontera.

Al contrario de lo que pudiera parecer, bucear no es una actividad peligrosa ni complicada siempre y cuando se tengan en cuenta algunas directrices básicas de seguridad. Entre estas, podríamos incluir aspectos tales como la compra de equipos fiables, mantenimiento de los mismos de forma regular, una buena elección del lugar y momento, y por supuesto el consabido factor humano que debe evitar cosas tales como querer avanzar por delante de las posibilidades personales de cada buceador en aspectos como la capacidad física y mental. También es importante para reducir riesgos tener los conocimientos teóricos y prácticos necesarios y dejarse aconsejar y guiar por los que saben más.

Con la actividad subacuática descubriremos un mundo que nos llevará no sólo a fantásticos fondos rodeados de bella flora y fauna si no quetambién tendremos la oportunidad de conocer países, gentes y costumbres que de otra manera probablemente al que nuestro destino nunca nos hubiera acercado.

También es una forma como pocas de estimular el trabajo en equipo. No se concibe la actividad subacuática sin el compañerismo. La filosofía del submarinismo es intrínsecamente cooperativa hasta el punto en que los propios equipos están pensados para asistir al compañero.

Los beneficios de la práctica del submarinismo han empujado al investigador a poner su granito de arena y arrojar un poco más de luz al conocimiento del comportamiento del cuerpo humano en condiciones subacuaticas.

II-HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Partimos de la hipótesis de que la presión y la aplanación corneal son directamente proporcionales.

Sabiendo también de la naturaleza viscoelástica de la córnea, si aplicamos una presión sobre ésta pensamos que la córnea deberá aplanarse y por tanto disminuir la curvatura corneal, el astigmatismo corneal, la excentricidad y la potencia corneal.

Sabemos en la actualidad que si aplicamos una presión a la cornea ésta se aplana[1] pero no cómo se comporta si la presión se mantiene durante un tiempo mayor o si se aplica en toda la superficie ocular.

El objetivo de este estudio es saber si el moldeo corneal persiste después de haber sido aplicada dicha presión, cuánto tiempo, cómo es la progresión y si afecta a toda la córnea por igual.

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

[1] Este es el principio de funcionamiento de los tonómetros.

III- TEMÁTICA DE APROXIMACIÓN

Presión

La **presión** es una magnitud física escalar, es decir, sin dirección ni sentido, y sirve para caracterizar como se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

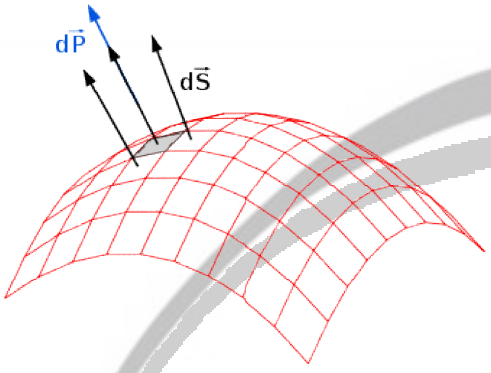


Ilustración 1- La presión, una magnitud escalar

CENTRO OPTOMETRIA INTERNACIONAL COI

Que expresada matemáticamente sería:

$$P=F/A$$

En el que P es la presión, F es la fuerza aplicada y A es la superficie sobre la que se aplica.

En la antigüedad no había concepto de presión. El movimiento de los fluidos que ascendían o descendían se explicaba en términos de "*horror vacui*"[2] u "horror al vacío" llegando incluso a ser cuantificada por **Galileo Galilei**

[2] El "horror al vacío" es un concepto artístico y cartográfico que posteriormente fue extrapolado al mundo científico.

resultando en un peso de una columna de agua de 10.33 m a la que llamaron "*altezza limitatissima*". Que era la altura máxima a la que los jardineros de Florencia pudieron elevar el agua con una bomba de hélice, que utilizaba la misma presión atmosférica.

En 1643 **Torricelli** hizo su famoso experimento. En el que, como sabemos, introdujo un tubo de un metro de longitud lleno de mercurio en un recipiente. Lo abrió por la parte de abajo y el mercurio bajó hasta 760 mm contabilizados desde el borde abierto del tuboy a nivel del mar. A continuación repitió el experimento a mayor altura y pudo comprobar que el descenso de mercurio fue mayor, por tanto, llegó a la conclusión de que debía haber alguna fuerza que variara con la altura y que contrarrestara la caída del mercurio.

Ilustración 2 – El experimento de Torricelli

A esta fuerza la llamaron presión atmosférica. Y la calcularon con la siguiente fórmula:

Patm= PHg hHg = 13,6 g/cm3 . 76cm = 1.033,6 g/cm2= 1 atmósfera de presión

Teniendo en cuenta que el mercurio es 13,6 veces más pesado que el agua se sabe que el peso de la columna de mercurio era de 1.033, 6 gramos por centímetro cuadrado.

Si Torricelli hubiera realizado el mismo experimento con agua habría obtenido una altura que compensara la presión atmosférica de 10,336 metros

(resultado de multiplicar la densidad del mercurio 13.6 por la altura de la columna de mercurio a nivel del mar, 760 mm) o dicho de otra forma la "*altezza limitatissima*" de Galileo. Este dato tiene valor en submarinismo al saber que aproximadamente 10 metros de profundidad equivale a una atmósfera de presión.

En cuanto a la expresión de la presión, podemos diferenciar entre presión absoluta y relativa. La **presión absoluta** es el peso de la columna de fluido sobre una superficie y sin relación a nada, se utiliza por ejemplo para indicar la presión atmosférica a determinada altura en un mapa de isobaras, los 760 mm de Hg de Torricelli también son un valor absoluto.

La**presión relativa** es la diferencia respecto a la presión atmosférica y tiene aplicaciones tales como la medida de la presión intraocular o la sanguínea. Si por ejemplo hablamos de que un ojo tiene una presión de "18" lo que realmente estamos diciendo es que su presión está 18 mm de Hg por encima de la presión atmosférica, si la indicáramos en valores absolutos de presión a nivel del mar habría que decir que ese mismo ojo tiene una presión de 778 mm Hg , es decir, 760 mmHg de presión externa más 18 de presión relativa respecto a la de la presión de la masa de aire que lo rodea.

El profundímetro por ejemplo es un barómetro con la escala reglada en metros y que utiliza presiones relativas

Ilustración 3 - Profundímetro con manómetro utilizado en submarinismo

Cuando el buceador desciende, todo su cuerpo está sometido a la presión de la columna de agua que tiene por encima. Si por ejemplo está a 10 metros de profundidad tendrá una presión relativa de 1 atmósfera o una presión absoluta de 2 atmósferas.

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

Buceo

Historia del buceo

El origen del buceo se remonta probablemente a la prehistoria cuando nuestros antepasados empezaron a recoger moluscos y crustráceos, pero la primera evidencia científica son las madreperlas halladas en las ruinas de Bismaya, ciudad cercana a la antigua Babilonia. Se habrían tallado entre el 5000 y el 4500 a.C[3] y los submarinistas de aquella epoca debían bajar a unos 20 metros o más. Estas madreperlas también han sido halladas en Tebas y Egipto. Es lógico suponer que la única forma de obtenerlas hubiera sido buceando.

Ilustración 4-El origen del buceo, la madreperla

Entre los años 3000 a 1400 a.C., en las costas del Mediterráneo surge una de las primeras profesiones relacionadas con la actividad subacuática (los pescadores de perlas, recolectores de esponjas y corales). En la antigua Grecia eran especialmente conocidos.

[3] Como señala George Frederick Kunz en su libro The Book of the Pearl (1908)

En el 1300 a.C. los Persas inventan las gafas de submarinismo combinando a una rudimentaria montura a una concha de tortuga pulida.

Hacia el año 900 a.C., podemos rescatar de la cultura Asiria los grabados que se usaban en algunos frisos que formaban parte del palacio del Rey Assur-Nasir-Pal y que actualmente se puede contemplar en un museo de Londres.

En estos bajos relieves, vemos algunas figuras de hombres nadando con bolsas hechas con piel de cabra y llenas de aire, conectadas a la boca por medio de un tubo. A simple vista, se puede apreciar que los hombres se están desplazando bajo el agua acompañados por un pez.

Ilustración 5-Los primeros buceadores

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Posteriormente estos buceadores tuvieron también un uso militar aunque de forma eventual, como describe Herodoto hacia el año 500 A.c. Es famosa en aquella epoca la historia de un buceador griego llamado “Scilis” que fue apresado a bordo de la flota Persa y cuando supo que el rey Xerxes I tenía la intención de hundir la flota griega, saltó al agua y cuando los soldados persas pensaban que se había ahogado, se ayudó de una caña hueca para bucear bajo la flota por la noche y soltar los cabos que la mantenían unida. Luego nadó 15 kilómetros para reunirse con los griegos en el cabo Artemisio

Los primeros antecedentes de submarinismo de rescate se remontan al año 168 a.C., cuando el último rey de Macedonia, Perseo, durante las guerras entre griegos y romanos lanzó al mar, después de su derrota en Pidna a manos del cónsul romano Paulo Emilio, los tesoros de su palacio, cuya recuperación

fue gracias a un equipo de rescatadores organizados que participaron en la inmersión. Fue el primer grupo organizado de sumarinistas del que se te tiene conocimiento histórico.

Posteriormente en el año 63 Ac el emperador Augusto crea el primer grupo organizado y permanente de buceadores, los "utinatores". Su misiones eran fundamentalmente militares. Aestos jóvenes se les preparaba con seriedad y de manera distinta a los demás ya que ensayaban contener el aliento el mayor tiempo posible. Además de ser buenos en apnea utilizaban tubo respirador y un particular sistema de visión a través del aceite impregnado en una esponja que iban soltando por la boca y que creaba una película que les permitía ver[4]. Su trabajo estaba regulado por la Lex Rhodia que establecía que el urinator podía quedarse con 1/3 del valor del material extraído hasta 15 m. de profundidad y con la mitad si se recuperaba hasta los 27m. Ya en aquel entonces entendían la dificultad de bajar a tan elevadas presiones.

Ilustración 6- Cleopatra también contaba

con un cuerpo de buzos de élite, los urinatores

[4] Según descripción de Tito Livio

Las misiones de los urinatores eran de diferente índole:

1-Infiltración en territorio o ciudades enemigas.

2-Exfiltración de los lugares antes citados.

3-Inteligencia sobre las defensas, guarniciones, arsenales...

4-Envío y recepción de mensajes.

5-Transporte de pequeñas cantidades de armas o suministros.

6-Sabotaje.

Son también muchas las leyendas que hay en la edad antigua y media sobre los buceadores, no hay que olvidar que en aquel entonces bucear era una actividad muy exclusiva a la que sólo unos pocos se atrevían. Por tanto los que lo hacían eran considerados unos “superhombres”

Al margen de leyendas, el hecho es que por aquel entonces, el hombre sabía que bucear era posible y que le permitía conseguir alimentos, encontrar artefactos, reparar de buques, tratar de hundirlos y finalmente observar las profundidades.

Aunque la Edad Media vivió de espaldas al mar, es en esta época tan poco marinera donde se encuentra al extraordinario buceador Nicolás, conocido como "el pez", y cuyas proezas submarinas fueron inmortalizadas por Federico Schiller en su balada del "Buceador", y como personaje del "Quijote" de Cervantes con el nombre de "Peje Nicolao".

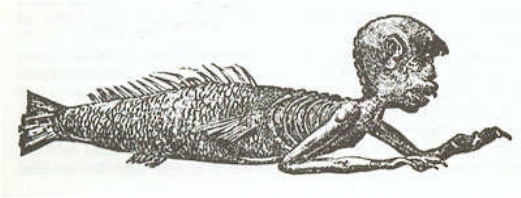


Ilustración 7-Un buceador legendario "Peje Nicolao"

En el Renacimiento, el polifacético genio Leonardo da Vinci diseñó un par de aparatos de buceo. El primero consistía en un simple tubo, similar al actual snorkel. Otro diseño muestra un casco completo con antiparras y un tubo respiratorio en una especie de capuchón con púas, que hacían de defensa natural contra posibles depredadores.

Quizás el más avanzado era uno que estaba hecho de cuero y se conectaba a una manga de aire fabricada con cañas y a una campana que flotaba en la superficie. Una prueba de que el artista era además un hombre práctico se aprecia al ver que el traje incluía una pequeña bolsa para que el submarinista pudiera orinar en ella. Fue clasificado por otros autores como "equipo que cubre todas las necesidades vitales y las exigencias especiales que un hombre puede necesitar bajo el agua".

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Curiosamente, en su "*Codex Atlanticus*" Leonardo afirma haber inventado más sistemas de inmersión pero prefiere no describirlos con demasiado detalle debido a lo que llamó la "malvada naturaleza humana". Probablemente se sentía responsable de que dichos inventos fueran utilizados para hacer malos actos como hundir barcos o cometer asesinatos.

Ilustración 8-A Leonardo también le interesó el buceo

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

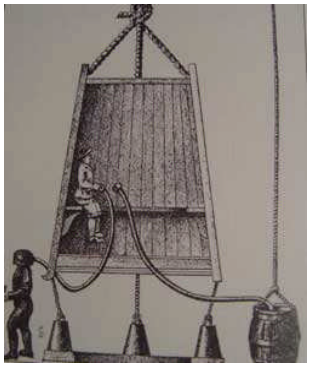
A partir de mediados del siglo XVIII y ante la necesidad de rescate de galeones hundidos con mercancias valiosas tales como metales preciosos y, dentro de ellos, plata mejicana, extraída de las minas de Zacatecas, y de Potosí, en Perú. En aquellos tiempos, apareció la figura del “absentista”, que era un contratista que firmaba un documento con el monarca con algunas condiciones y en él se comprometía a adelantar el dinero y a poner embarcaciones y buzos

para el rescate, a cambio de quedarse con un tercio o la mitad de la carga. El resto iba a la Corona.[5]

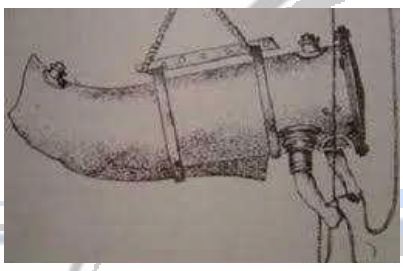
Comienzan por tanto una carrera en la que se suceden descubrimientos e inventos que permitirían a los buceadores sumergirse a una mayor profundidad y por más tiempo. Como consecuencia de esta nueva empresa, por aquella época, ganan aceptación las campanas de buzo, como la "Patache" de Jean Barrié (1640), o la del astrónomo Halley (1690), que recibía suministro de aire desde la superficie. Es un vaso al revés, (que realmente era una variación de los calderos invertidos descritos por Aristóteles en el 400 Ac) , normalmente de metal, que se introduce en el agua, activado desde un barco con cabestrante o grúa y que introduce una burbuja en el interior de los buzos que practicaban la actividad a pulmón libre. Éstos tenían la oportunidad de respirar sin asomarse a la superficie. El aire para respirar de estas campanas era enviado por un medio ingenioso: haciéndolo descender en toneles con un peso adicional. Desde el tonel a la campana, el aire era conducido por medio de un largo tubo de plomo flexible alcanzándose profundidades de 40 metros, a más de 50 era peligroso por el riesgo de ser dañado por la presión de agua. Como vemos, en aquel entonces los riesgos del buceo a altas profundidades comenzaban se tenían en cuenta.

CENTRO OPTOMETRIA INTERNACIONAL COI

[5] . Curiosamente, esta figura recuerda a la de los antiguos “urinatores” hasta el punto en el que el porcentaje de beneficios más de mil años después, era exactamente el mismo.



En 1715, el inglés John Lethbridge diseñó un barril de inmersión de madera, a prueba de presión, con una placa de cristal para ver y manguitos para los brazos. Al descender a los 20 metros el buceador podía mover los brazos, y de esta manera recorrer el lugar y recoger objetos. Este sistema es el precursor del traje de buzo, pero tenía el inconveniente de tener que salir hasta la superficie a rellenar el aire del barril.



En 1779, John Smeaton usa una bomba de vapor para suministrar aire a una campana de buzo permitiendo aumentar el tiempo de inmersión

La posterior evolución de la campana hacia el traje autónomo vendrá de manos de Augustus Siebe, a quien algunos consideran el "*padre del buceo moderno*", que reducira su tamaño hasta convertirla en un casco que reciba aire de una bomba desde la superficie.

El mismo Siebe, en 1837, le añadiría un traje impermeable que dejaba "en seco" el cuerpo del buzo, y a la que llamó escafandra. Así nació el equipo de buzo clásico, que con algunas modificaciones es el que ha llegado hasta nuestros dias.

Aunque ya se habían hecho intentos anteriores, en 1860, un oficial de marina francés, Auguste Denayrouze, y un ingeniero de minas, Benedict Rouquayrol construyeron el precursor del actual regulador, que consistía en un depósito metálico de 0,8 litros de capacidad que contenía aire a 30 o 40 atmósferas de presión, con un regulador elemental y una manguera que suministraba aire desde la superficie y que se podía desconectar por breves periodos de tiempo mientras el buceador seguía respirando de la reserva de su depósito. Le darían el nombre de "*aeróforo*" y, sin duda, permitiría mejorar la autonomía y comodidad del buceador.

Este aparato no llegó a utilizarse masivamente ya que tenía una escasa autonomía y no disponía de un sistema de visión adecuado. Henry Fleuss desarrolló en 1879 un equipo de buceo que funcionaba con unas mezclas de 50% a 60% de oxígeno. La primera inmersión duró una hora y tras el éxito de la misma convenció a Siebe Gorman and Co., de Londres, para que fabricara su equipo.

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

La década de los 30 se va acercando cada vez más al submarinismo actual, en 1935 se crean dispositivos como las aletas, el tubo respirador en 1938 y la máscara que abarca ojos y nariz, patentada en 1938. En 1933 un investigador francés, Le Prier, patenta la escafandra que proporciona al buceador una autonomía real al combinarlo con la botella de aire a alta presión (150 atmósferas), y se mejora la visión, con el empleo de una máscara facial. El

inconveniente era que este aparato no disponía de un sistema de control del consumo, lo que limitaba mucho su autonomía y hacía su uso más inseguro.

En 1937 Augustus Siebe y Gorman desarrollan una combinación estanca de peto metálico con un collarín al que se fija un casco. Todo ello se completa con unas botas con suelas de plomo, de donde viene el nombre de "pies pesados" permitiendo que el buceador andara derecho. El aire sigue llegando desde la superficie a través de un tubo, y se llega a alcanzar los 100 metros de profundidad.

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

En 1943, el equipo formado por el famoso y mediático Teniente de Navío francés Jacques-Yves Cousteau, el ingeniero Emile Gagnan, y un joven deportista Frédéric Dumas probarían en aguas de la Costa Azul un aparato que habría de convertirse en aquel con el que tantas generaciones habían soñado. Se trataba de la escafandra autónoma, cuyo elemento fundamental era un regulador que suministraba al buceador aire a presión ambiente proveniente de una botella previamente presurizada. Este tipo de suministro de aire a presión ambiente facilita mucho la respiración al buceador y abre por fin las puertas del buceo recreativo.

Actualmente, los avances en el conocimiento de la fisiología y la mejora de la tecnología para respirar mezclas gaseosas, han permitido al buceador descender hasta una profundidad record de 318,25 metros[6]

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

[6] Nuno Gomes (Surafrica) descendió a una profundidad de 318.25 m en el mar rojo, Dahab, Egipto, el 10 de Junio de 2005.

http://www.youtube.com/watch?v=zFUZCp22JkE&feature=player_embedded#at=329

Características de la visión subacuática

Las gafas de buceo son un complemento indispensable para ver en las profundidades. Recordemos que el índice de refracción del agua es de 1,33, muy parecido al de la cornea. Por tanto el diseño corneal no es válido para ver bajo el agua, los rayos que inciden sobre ella apenas se refractarán y el único poder dióptrico del ojo será del cristalino. Dicho de otra forma, el ojo se volverá hipermétrope porqué pierde toda la potencia refractiva de la córnea, en torno a 48 Dp, y se queda sólo con la del cristalino.

La solución está en interponer alguna sustancia delante de la córnea para que haya un gradiente de índices de refracción, que es lo que hacen las gafas de submarinismo al mantener una capa de aire transparente sobre el ojo. En la antigüedad a este problema se solucionaba al ver a través de una capa de aceite, como hacían los urinatores romanos.

El inconveniente de las gafas de buceo es que hace que el recorrido de la luz hasta el ojo sea, agua-vidrio-aire-cornea, lo que provoca un aumento de la imagen de los objetos percibidos por el buceador de aproximadamente 1/3 y una disminución aproximada de campo visual de 30º. La conjunción de estos factores produce también cierta “torpeza” entre los buceadores debido a que están percibiendo una realidad muy distorsionada y de difícil desenvoltura. Es importante garantizarse la mejor visión posible durante la inmersión porqué si no el submarinista puede encontrarse con serios problemas de seguridad.

Pero este es el precio que se debe pagar por ver bajo el agua, y no hay mucho más que hacer, sólo queda acostumbrarse.

Capítulo aparte es la corrección óptica. Se puede optar tanto por graduar la máscara de buceo como utilizar lentes de contacto. En caso de optar por las lentes de contacto, la mayor parte de los especialistas recomiendan el

CENTRO DE OPTOMETRIA INTERNACIONAL COI

uso de lentes de contacto desechables aunque en opinión del buceador también es posible la utilización de lentes de contacto gas permeable si el buceador está acostumbrado a ellas y siempre y cuando se tengan en cuenta algunas recomendaciones[7]. En caso de apnea no es posible utilizar máscara de buceo, porque el buceador no puede obtener aire de ningún sitio para compensar la presión y la máscara se aplastaría sobre la cara. La solución en estos casos pasa por la utilización de unas lentes de contacto especiales adaptadas para tal fin.

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

[7] Están en las conclusiones.

Lesiones en el buceo

Para entender porque se pueden producir lesiones en el buceo lo primero es saber a que partes del cuerpo afecta y como altera su normal fisiología.El cuerpo tiene 3 fases sólida, líquida y gaseosa. El grado de afectación va a depender de la compresibilidad[8], que será inapreciable para las fases sólidas y líquidas y tendrá una gran influencia en la fase gaseosa. También tiene gran importancia la capacidad que tienen las estructuras corporales para equilibrar la presión externa e interna.

La única estructura rígida como tal la constituye el sistema esquelético que apenas va a sufrir variaciones. Luego hay componentes más blandos unidos directamente al esqueleto (la mayoría de los músculos) y que van a conservar también su posición relativa. Los componentes menos asociados al esqueleto, como las vísceras abdominales, mantienen también su posición por equilibrio de fuerzas. El tejido sanguíneo representa la fase líquida más importante del cuerpo. Finalmente todos los demás tejidos (músculos y vísceras) tienen la consistencia propia de la carne: en mayor o menor medida firmes y deformables.

El sistema respiratorio representa la parte gaseosa y es la que va a estar más afectada por la práctica del buceo, consta de sacos y conductos propios representa los órganos y tejidos.

Se definen tres "*compartimentos básicos"* a tener en cuenta:

[8] La compresibilidad es una propiedad de la materia a la cual se debe que todos los cuerpos disminuyan de volumen al someterlos a una presión o compresión determinada manteniendo constantes otros parámetros

1-Cajas rígidas determinadas por el sistema esquelético:

-La caja craneana que son, los senos nasales, frontales y parafrontales; y parcialmente los conductos auditivos.

-La caja torácica, que contiene los pulmones y el corazón.

2-Las vísceras abdominales: separadas de la caja torácica por el diafragma, pero con tejidos muy elásticos y deformables.

3-La masa sanguínea: en fase líquida, irrigando todo el cuerpo a través de vasos, pero con volúmenes considerables en el corazón y en los órganos muy vascularizados (pulmones y sistema nervioso).

Los **efectos de una inmersión** se clasifican en tres grupos:

1- Modificación de parámetros fisiológicos.

En contacto con el agua el corazón disminuye el ritmo cardiaco y aumenta la tensión arterial. Por otra parte se produce una hipervolemia[9] y aumento de la diuresis[10].

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

2- Efectos de la presión:

Cambios volumétricos:

A medida que el buzo desciende los *compartimentos* volumétricos tales como los senos nasales, paranasales y frontales, así como los canales auditivos deben compensarse mediante la maniobra de Valsalva o con un breve ejercicio de espiración forzada cerrando nariz y boca. La caja torácica limita en la parte inferior con el diafragma y la masa abdominal. El buceador, al tener una fuente de aire autónoma y equilibrada a la presión ambiente reemplaza el volumen

[9] Se conoce como hipervolemia al trastorno hidroelectrolítico consistente en un aumento anormal del volumen de plasma en el organismo

[10] Secrección de orina.

pulmonar con un mayor aporte de aire a medida que respira en el descenso; pero debe tener especial cuidado durante el ascenso.

Los accidentes ligados a este efecto son **barotraumatismos mecánicos**. Los principales son las hemorragias en los senos faciales, la rotura de tímpano. Menos frecuentes y más graves, los barotraumatismos pulmonares: por sobrepresión , los pulmones llegan al límite de dilatación y los alveolos se rompen generando un neumotórax[11] , un enfisema mediasteno[12] o una embolia[13]

Factores de disolución o difusión:

En superficie, a nivel del mar (1 bar), las presiones parciales de N_2 y de O_2 serán respectivamente de 0,8 bar y 0,2 bar. Normalmente los tejidos del cuerpo están en saturación para el N_2 (es decir que la tensión del N_2 en los tejidos es de 0,8 bar). Pero no sucede igual con el oxígeno. Parte del O_2 respirado es transportado internamente por la hemoglobina presente en la sangre, y otra parte importante circula bajo forma disuelta[14].

Además el oxígeno es consumido en el metabolismo celular, que a cambio produce dióxido de carbono (CO_2) que es transportado por vía venosa (por la hemoglobina y bajo forma disuelta) hacia los pulmones.

Durante la inmersión aumenta considerablemente la presión parcial de nitrógeno, generando un desequilibrio entre la presión parcial y la tensión tisular. Siguiendo las leyes de disolución y difusión de los gases, los tejidos se

[11] El aire escapa a la cavidad torácica

[12] El aire escapa a la cavidad del corazón y puede llegar siguiendo la pared de la traquea al cuello

[13] El aire escapa por las venas y arterias

[14] Este fenómeno es el que nos permite mantener aguantar la respiración durante un tiempo hasta que la parte disuelta desaparece y la hemoglobina no encuentra mas O2 para transportar. La parte disuelta actúa como reserva de O2.

encontrarán en fase de subsaturación y empezarán a absorber N_2 para equilibrarse nuevamente. Pero esta saturación ocurre en un gradiente y a ritmos diferentes según el tejido. La sangre y los tejidos nerviosos se saturan rápidamente, mientras que los huesos y los tendones son los que más tardan. El proceso inverso se produce en el ascenso, al remontar a la superficie los tejidos de un buzo están es sobresaturación de N_2 y tenderán a liberarlo a tasas equivalentes de des-saturación.

Si la presión circundante es muy inferior a la tensión de N_2 de un tejido, el gas disuelto (es decir en forma líquida) no podrá ser evacuado del tejido por difusión. Lo que sucede entonces es que el N_2 volverá nuevamente a su fase gaseosa dentro del tejido. Es decir que se formaran burbujas donde no debería haberlas

En un ascenso es normal que se formen algunas microburbujas de N_2 y de CO_2 que son eliminadas progresivamente por vía pulmonar. Pero si el ascenso se hace demasiado rápido o sin respetar las paradas de descompresión, la cantidad y la talla de micro burbujas puede ser más importante.

COI CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

El accidente de descompresión es, pues, provocado por una situación de sobresaturación tisular por encima de un nivel crítico. La presencia de burbujas en el tejido sanguíneo puede provocar trombos, embolias e incluso la necrosis de los tejidos.

Los efectos pueden ser inmediatos o progresivos.

3- Efectos bioquímicos:

Equilibrio sanguíneo O2/CO2:

Normalmente el O_2, por ser el gas consumido para el metabolismo celular, presenta tensiones sanguíneas menores a las presiones parciales alveolares, en cambio el CO_2, como producto de desecho, presenta tensiones sanguíneas mayores que las presiones parciales alveolares. Esto crea un gradiente de presiones en las interfases alveolo-sangre, que permiten el intercambio gaseoso. El cuerpo posee un mecanismo fisiológico que nos alerta cuando se ve sometido o se acerca a una situación de anoxia. Esta alarma fisiológica es la que produce la sensación de asfixia. El aumento de la tensión del CO_2 en el flujo sanguíneo acarrea una ligera acidificación del pH sanguíneo debido a su transformación en ácido carbónico, este cambio es detectado por un par de receptores nerviosos en la arteria carótida y desencadenan el reflejo de asfixia. Luego no son las tensiones de los gases las que son directamente «reguladas» por el organismo, sino el pH del plasma sanguíneo, como indicador indirecto de estas tensiones. Es decir que nuestro mecanismo de alerta del riesgo de hipoxia depende invariablemente del cambio del pH sanguíneo debido al aumento de la tensión del CO_2.

CENTRO DE OPTOMETRIA INTERNACIONAL COI

Cuando se incurre en una hiperventilación (aumento voluntario o involuntario de la frecuencia respiratoria), las presiones parciales alveolares de los gases y de las tensiones sanguíneas tienden a igualarse: aumenta la tensión sanguínea del O_2 y disminuye la de CO_2. El pH sanguíneo tiende a alcalinizarse y por lo tanto se retarda el reflejo de asfixia.[15]

Toxicidad de los gases:

[15] Los buzos en apnea recurren con frecuencia a una corta hiperventilación en superficie, antes de la inmersión, están alcalinizando su sangre. Esto con el fin de oxigenar al máximo los tejidos y el aire contenido en los pulmones, pero también para retrasar la sensación de asfixia y maximizar así el tiempo de confort durante la inmersión. El riesgo es que pueden provocar un accidente sincopal. El síncope es la pérdida de conocimiento o desmayo breve, debido a una insuficiencia de aporte de oxígeno hacia el cerebro porque la presion parcia del O2 baja de 0,17 Bar es el efecto de la hipoxia. Tras una hiperventilación importante, los síntomas pre-sincopales (sensación de asfixia, vertigos y mareos) no aparecen y el síncope aparece instantáneamente y sin advertencia

Hipercapnia: Se produce por un aumento anormal de la tensión de CO_2 en la sangre, revelando los efectos tóxicos de este gas. Los buzos inexpertos tratan de disminuir su frecuencia respiratoria en un afán de "*ahorrar*" aire de la botella y en buzos profesionales, debido a un ejercicio intenso durante la inmersión. Los síntomas son un malestar, angustia y ansiedad del buzo, sensación de asfixia y respiración superficial; los cuales si no son controlados por el buzo, amplifican y agravan la hipercapnia llegando al síncope y la muerte por ahogamiento; además el buzo presa del pánico pueden sufrir barotraumatismos o accidentes de descompresión por un ascenso fuera de regla.

Hiperoxia: A partir de tensiones tisulares superiores a los 0,5 bar, el oxígeno empieza a tomar un carácter tóxico que se consolida completamente cuando su tensión tisular alcanza 1,7 bar. Bajo esas presiones parciales el O_2 se disocia en radicales libres (peróxido de hidrógeno H_2O_2 y radicales hidróxilo ·OH) que inhiben la función celular a nivel de la membrana. Este efecto sobre la membrana celular afecta especialmente el sistema nervioso (la membrana celular de las neuronas y su delicado equilibrio de electrolitos y sustancias mensajeras son la clave de la transmisión de los impulsos nerviosos). Por lo tanto, aunque todos los tejidos se ven afectados por igual, su efecto neurotóxico es el que reviste mayor gravedad. La intoxicación por oxígeno produce convulsiones, pérdida de conocimiento y puede llevar al consiguiente ahogamiento del buzo. El riesgo de hiperoxia dicta los límites de seguridad del buceo autónomo con aire.

En España el límite máximo de profundidad para el buceo recreativo se establece en 40 m, y en 55 m para inmersiones excepcionales. También la asociación P.A.D.I. establece el límite del buceo recreativo en 40m si bien muchas asociaciones recomiendan y/o exigen no superar los 18-20 m de profundidad con las titulaciones básicas.

COI CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

Narcosis de nitrógeno: Aunque el nitrógeno y otros gases inertes son químicamente estables, bajo concentraciones elevadas producen efectos reversibles sobre el sistema nervioso. Estos efectos son en general similares a los debidos a la intoxicación por alcohol o a las sustancias narcóticas y es por esto que reciben el nombre de "*narcosis*". Cuando la tensión tisular del N_2 supera los 4 Bar los efectos empiezan a manifestarse; pero es muy variable de un individuo a otro. Son los buzos autónomos con aire los expuestos a este tipo de efecto, pudiéndose dar casos muy por encima de los 30 m, dependiendo del estado general del buzo. Los síntomas típicos son la euforia, despreocupación, alteración de la capacidad de raciocinio y de concentración, pérdida de memoria y desorientación. La pérdida de la capacidad de juicio y de orientación, típica de este fenómeno, puede hacer incurrir al buzo en otros accidentes y eventualmente incluso al ahogamiento.

COI CENTRO DE OPTOMETRIA INTERNACIONAL

Riesgos asociados al buceo

Lo primero es intentar definir que es un deporte peligroso, porqué entran en juego muchos factores y una estadística sin tenerlos en cuenta puede llegar a ser muy engañosa. Hay que matizar bien los datos para no llegar a un concepto erróneo y despejar también algunos prejuicios.

-Factor humano: es decir, los que dependen únicamente del deportista, como pueden ser, la preparación que ha realizado para desarrollar dicho deporte, la actitud, la edad y por supuesto el estado físico y psicológico.

- Factor material: buena elección, manipulación y mantenimiento del equipo.

- Factores intrínsecos de dicho deporte. La velocidad, presiones, altitudes, vibraciones, temperaturas, exposición a sustancias tóxicas, meteorología y en general cualquier entorno peligroso que se nos pueda ocurrir.

-Factor suerte. Por mucho que extrememos la seguridad nunca podremos eliminarlo, pero si tenemos en cuenta los dos factores anteriores (y según de que deporte se trate), si podemos llegar a minimizarlo en gran medida. Podemos decir por tanto en términos generales que la suerte es lo que menos influye en el desenlace fatal de la mayor parte de actividades deportivas.

Después de hacer este matiz, la siguiente estadística considera como deportes más peligrosos del mundo aquellos en los que hay mayor número de fallecidos y lesionados por participante.[16]

1- Lawn Bowls[17]. Debido a que las lesiones de tobillos, cadera y rodillas son numerosísimas, cuando no muertes por ataques al corazón. La explicación de este primer puesto está en que sus participantes tienen una media de edad de 85 años

2- Salto base. 175 muertos entre muy pocos participantes (actualmente lo practican unas 200 personas en el mundo) en un periodo de 30 años. A todas luces muy arriesgado.

3- Carreras de caballos. 128 muertes por cada 100.000 participantes

4- Golf: La mayor parte de las muertes por caída de rayos.

CENTRO OPTOMETRIA INTERNACIONAL C.O.I

[16] Esta estadística es sólo para Estados Unidos y Australia.

[17] Lawn Bowls es un deporte tradicional Ingles, originado en siglo XII y muy similar a la petanca.

5- Escalada: 24 muertes en el año 2000. Debido fundamentalmente a quedarse atascado y no poder volver, así como la imposibilidad de ser rescatado en lugares con tan difícil acceso, acabando por morir de hipotermia o deshidratación.

6- Pesca. Por el riesgo de ser arrastrado por una ola.

7- Motociclismo.

8- Animadoras. Las consecuencias no suelen ser mortales pero si hay muchas lesiones de columna y piernas rotas. En un año se llegaron a contabilizar 20000

9- Buceo en cuevas. En cuevas a partir de 100 metros y sin apenas iluminación se corre riesgo de perder el regulador, tener problemas con el suministro de aire, ser atacado por alguna criatura, tocar algo peligroso o quedarse encajado. 500 muertos desde 1960 en Caribe, Florida y México.

10- Rugby. El deporte con más contacto físico, y si tenemos en cuenta que no tienen protecciones como en el futbol americano, la probabilidad de sufrir una lesiones; como desgarros, conmociones cerebrales y fracturas es 3 veces mayor que en las artes marciales.

Vemos por tanto que una especialidad de buceo recreativo, el buceo en cuevas, ocupa el puesto 9 en esta clasificación. Sin embargo si tenemos en cuenta que la mayor parte de sus factores de riesgo son controlables y minimizamos el riesgo asociado al factor humano, puede ser una actividad muy segura.

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Lesiones oculares en el submarinismo

Como vimos anteriormente, la presión aumenta una atmósfera por cada diez metros. Por tanto, cuando un buceador se sumerge la presión a la que están sometidos sus ojos pasan por varias fases dependiendo de si está descendiendo o ascendiendo, velocidad, capacidad de compensación…

Antes de entrar en cuales son las lesiones vamos a hacer una pequeña explicación sobre las fases de presión de la máscara de buceo durante la inmersión:

1- El aire del interior de la máscara estáa 1 atmósfera y el buceador permanece en superficie con la cabeza fuera del agua, rodeado también por aire a 1 atmosfera

2- El buceador comienza la inmersión y el aire de la máscara sigue a 1 atmósfera pero el agua que la envuelve empieza a aumentar la presión rápidamente. La máscara empieza a aplastarse sobre la cara del buceador.

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

3- El buceador debe realizar la maniobra Valsalba para evitar lesiones en el oído y expirar aire por la nariz para que no se le peguen las gafas. Si las vías respiratorias están bien las presiones se equilibran rápidamente y la máscara dejara de clavarse sobre la cara del buceador. Por este motivo es fundamental que la máscara contenga la nariz.

Después de la compensación todo el cuerpo del submarinista estará sometido a la presión del fluido que le rodea, incluido el ojo. Cada vez que el buceador decida sumergirse más, deberá realizar estas maniobras de nuevo, para seguir equilibrando de forma gradual. Se recomienda realizar la compensación antes de que los tímpanos duelan para que no sufran lesiones.

4- Comienza la ascensión. En este caso, las vías respiratorias deberán compensar automáticamente las presiones para que no se produzca un efecto ventosa entre la máscara y la cara, dicho efecto ocurre como consecuencia de la ley de Boyle-Mariotte[18] y puede ser bastante perjudicial para los ojos (rotura de vasos sanguíneos)

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

[18] Es una de las leyes de los gases ideales que relaciona el volumen y la presión de una cierta cantidad de gas mantenida a temperatura constante. La ley dice que el volumen es inversamente proporcional a la presión

Lesiones:

Debidas a la corrección óptica:

Es preferible optar por lentes de contacto blandas, pero si el sujeto ya está adaptado a las rígidas también las puede usar. También es posible la formación de edema corneal por la difusión de nitrógeno desde la lágrima a la córnea y su posterior dilatación durante un ascenso no controlado. Es recomendable el uso de lágrima artificial

Otra opción es llevar la máscara graduada. Siempre teniendo en cuenta que deben estar bien montadas (bien polimerizadas y sin burbujas) para que las lentes no se desprendan.

-Barotrauma ocular:

Generalmente debidos a una mala técnica. Se produce una quemosis y hemorragia subconjuntival que normalmente remite con facilidad.

Dentro de los barotraumas hay que hacer mención aparte a las personas que tengan burbujas en el vítreo. Pueden producir hemorragias retinianas, vítreas, uveales y desprendimientos. Por tanto en estos casos la práctica del buceo está desaconsejada.

-Enfermedad oftálmica por descompresión:

Aunque las manifestaciones oftalmológicas de la visión son bastante raras, pueden producirse embolias con síntomas como: nistagmo, diplopía,

defectos del campo visual, escotomas, lesiones retroquiasmáticas, ceguera cortical y lesiones del epitelio pigmentario. Precisarán de un tratamiento de recompresión en cámara hiperbárica.

-Buceo posterior a cirugía ocular

Debe realizarse después de un tiempo prudencial para que la herida sane.

Pueden introducirse patógenos por las superficies aún no epitelizadas provocando una endoftalmitis.

También puede producirse un barotrauma ocular en el caso de que hayan entrado burbujas durante la operación.

Aclarar que hasta la fecha no existen estudios que hayan publicado tablas con tiempos recomendados de reposo después de la cirugía. Pero en la práctica se hacen las siguientes recomendaciones:

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

En queratoplastia se debe esperar unos 6 meses, en queratometría radial sin tratamiento esteroideo son 3 meses. En operaciones láser con levantamiento de flap deberá esperarse a que la córnea reepitelice y desaparezcan los síntomas de la operación. En cirugía de catarata dependerá del tamaño de la incisión que se haya realizado para la operación pero como norma general podemos decir que para cirugía extracapsular 3 meses serán suficientes y para cirugía por facoemulsificación 1 mes.

-Glaucoma:

En cuanto a esta enfermedad, hay dos posibles contraindicaciones que afectan a los operados de glaucoma. Una es la derivada de compresión de la máscara por una técnica errónea, que puede producir el cierre del agujero practicado en el iris y que comunica los fluidos entre la cámara anterior y posterior del ojo y otra la posible endoftalmiltis por contaminación de patógenos a través de la herida después de la cirugía de glaucoma.

Debe tenerse en cuenta también la medicación antiglaucomatosa. El timolol por ejemplo produce una disminución del ritmo cardiaco que se añade al de la práctica del buceo y puede dar lugar a una pérdida de conocimiento. La acetazolamida (diamox) puede causar sensación de hormigueo en manos y pies y ser confundidos con síntomas de enfermedad descompresiva.

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

Córnea

Fisiología corneal

La córnea es una estructura transparente que proporciona gran parte del poder refractivo necesario para enfocar la luz en la retina. También funciona como estructura de protección de tejidos y humores intraoculares.

Presenta una cara anterior convexa, recubierta constantemente por la película lagrimal, ligeramente ovalada con un diámetro medio horizontal de 12 mm y uno vertical de 11 mm en el adulto. La diferencia entre los radios de curvatura horizontales y verticales explica el astigmatismo fisiológico. La cara posterior está bañada por el humor acuoso, constituye la pared anterior de la cámara anterior del ojo. Separa el aire con un índice de refracción de 1 y el humor acuoso con un índice de 1.33 constituyendo la principal estructura refractiva del ojo, se comporta como una lente convergente con un poder refractivo de aproximadamente 42 dioptrías (dos terceras partes del poder refractivo necesario para poder enfocar la luz en la retina). El espesor de la córnea es de 0’5 mm en el centro, aumentando hasta cerca de 1 mm. en el limbo esclerocorneal.

La córnea está constituida por cinco capas que de fuera adentro son:

1. Epitelio.

2. Membrana de Bowman.

3. Estroma.

4. Membrana de Descemet.

5. Endotelio.

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

El epitelio es plano, poliestratificado y no queratinizado. El estrato superficial renueva constantemente sus células. Es uno de los tejidos que se regenera más rápidamente, una erosión puntual puede recuperarse en unas tres horas, una erosión más profunda en pocos días. La reparación de esta capa siempre es completa y no cursa con opacificación residual. La membrana de Bowman es una capa constituida por fibras de colágeno y sustancia fundamental. Su grosor medio oscila entre 8 y 14 micras, siendo más delgada en su periferia. Posee escasa capacidad regenerativa, por esto se explica el carácter recidivante de algunas erosiones corneales cuando ésta se ve afectada. Un indicador de esta regeneración incompleta es la incapacidad del epitelio para serhumedecido adecuadamente por la película lagrimal y por tanto la aparición de puntos secos y ruptura precoz de ésta. A partir de esta capa cualquier proceso patológico cursará con una opacificación corneal e irregularidades causantes de astigmatismo irregular, y si afecta al área pupilar cursará con disminución de la visión

El estroma con un grosor de 500 micras constituye el 85-90% del espesor corneal. Está compuesto por laminillas de colágeno, sustancia fundamental y fibroblastos (queratocitos). La disposición de estos elementos es muy rigurosa, lo que contribuye a la transparencia corneal y a la alta calidad como superficie óptica junto con la tasa de hidratación y la ausencia total de vasos. Por su grosor, el estroma corneal va a ser la capa que más influya en la biomecánica corneal

El contenido normal de agua de la córnea es de un 78% en peso, a pesar de esto tiende a capturar agua adicional, una roturade las capas del epitelio o endotelio y/o sus membranas de soporte conducirá a la penetración de agua en el estroma y a la aparición de edema corneal. Un mecanismo activo de bombeo en las células del endotelio trabaja para eliminar dicha agua. El tejido estromal proporciona una gran elasticidad y resistencia. La membrana de Descemet es una estructura acelular formada por fibras de colágeno dispuestas en estratos,

CENTRO DE OPTOMETRIA INTERNACIONAL COI

actúa como membrana basal del endotelio. Su grosor aumenta con la edad y es la más resistente de las capas corneales.

El endotelio corneal está constituido por una sola capa de células hexagonales y aplanadas. Su sustitución se realiza por extensión de las células vecinas y no por división, con lo que su número decrece con la edad (al nacer su número es de 400000 a 500000), inflamaciones, cirugía y traumatismos. Su función principal es el transporte de sustancias osmóticamente activas y mantenimiento del balance hídrico junto al epitelio.La córnea presenta una abundante inervación sensitiva a cargo del trigémino. Al llegar allí sus fibras pierden la mielina y se distribuyen en forma de plexo entre el epitelio y la membrana de Bowman. La fisiología corneal y su trofismo depende en gran medida de esta inervación, siendo su máximo exponente patológico la queratitis neurotrófica o neuroparalítica.

La nutrición de la córnea es aportado desde tres vías: oxígeno ambiental disuelto en película lagrimal, vasos perilímbicos y humor acuoso que baña el endotelio.La patología general de la córnea está dominada por dos factores básicos:

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

1.- La avascularidad que explica la lentitud, cronicidad y dificultad de tratamiento.

2.- La transparencia que se altera con facilidad, repercutiendo en la función visual

Propiedades biomecánicas de la córnea

Empíricamente la córnea es un tejido cuyas propiedades exactas son difíciles de determinar porque, por una parte, se degradan después de la

muerte y por otra parte la biomecánica de las córneas vivas desechadas de transplantes está alterada por la elevada edad del donante, serología positiva y enfermedades oculares

En estado normal la córnea está sometida a un **equilibrio de fuerzas**, que depende de factores intracorneales y extracorneales. Éstos se conjugan como fuerzas contrapuestas en equilibrio dinámico.

Dentro de los factores extracorneales, el más importante es la presión intraocular que ejerce una fuerza sobre la cara interna de la córnea. Sobre la cara externa actúa la presión atmosférica si estamos en superficie y la presión hidrostática en el caso de los buzos que están rodeados de agua. Existen algunas fuerzas más que en el caso de una inmersión serán insignificantes, que son, la presión de los párpados y de los músculos extraoculares, (indirectamente a través de sus inserciones esclerales) y el músculo ciliar que durante la acomodación produce un acortamiento del diámetro corneal e induce un cambio de curvatura equivalente a 0,60-0,72 dioptrías.

CENTRO OPTOMETRIA INTERNACIONAL COI

Las propiedades biomecánicas de la córnea determinarán como se deformará cuando se la someta a una presión. A su vez estas propiedades dependen de la anatomía corneal.

La estructura que más contribuye a la biomecánica corneal es el **estroma**, Esto es debido en parte al espesor corneal, pero sobre todo a la especial disposición, densidad y entrecruzamientos de las fibras colágenas del estroma. Éste representa el 90% del espesor corneal y está compuesto por agua, glicosaminoglicanos y fibrillas de colágeno (300 a 500) dispuestas en láminas, extendidas de limbo a limbo sin interrupción formando una intrincada red. Cuando es sometida a compresión o estiramiento, la cornea reorganiza sus láminas e incrementa su elasticidad hasta llegar a un nuevo estado de equilibrio. Esta red presenta diferencias regionales: las láminas dispuestas oblicuamente a la superficie corneal se entrecruzan más densamente en el

tercio estromal anterior que en los dos tercios posteriores, donde se disponen paralelas a la superficie corneal. Además, el estroma posterior presenta mayor concentración del proteglicano queratan sulfato (más hidrofílico) y el estroma anterior presenta mayor concentración del proteglicano dermatán sulfato (menos hidrofílico). Por las diferencias estructurales, se postula que fundamentalmente el tercio estromal anterior es quien determina la estabilidad de la curvatura corneal y experimentalmente se ha demostrado que éste presenta mayor resistencia al edema, sosteniendo al resto de la estructura, en parte por la presencia de la membrana de Bowman.

Por otra parte, teniendo en cuenta que durante el envejecimiento y en enfermos de diabetes el entrecruzamiento del colágeno estromal aumenta será lógico pensar que las córneas de estos sujetos tendrán más rigidez.

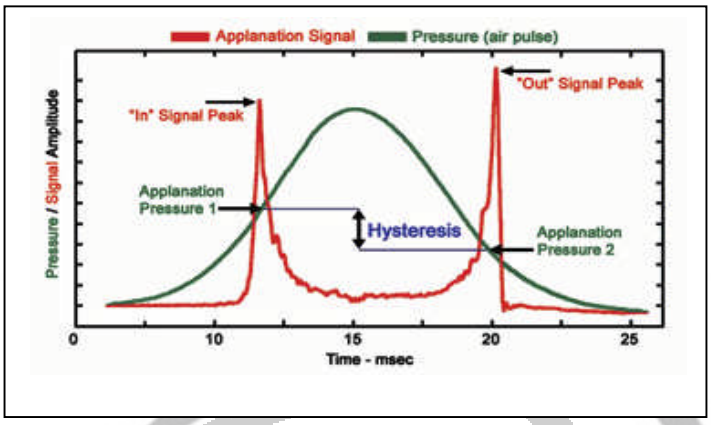
La distribución anatómica de la córnea determina que su comportamiento físico sea **viscoelástico**, entendiendo por tal, un tipo de comportamiento reológico anelástico[19] que presentan ciertos materiales que exhiben tanto propiedades viscosas como propiedades elásticas cuando se deforman

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

La **histéresis** corneal es una medida de la distensibilidad corneal, es decir, la capacidad del tejido para absorber y disipar energía resultado de las propiedades viscoelásticas de la córnea. Es una característica biológica permanente en ambos ojos de cada paciente pero que difiere mucho de una persona a otra. Está muy relacionada con el estado de las fibras de colágeno y según algunos estudios es independiente del espesor corneal.

[19] La reología es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir

La histéresis corneal se mide con el ORA[20] (analizador de repuestas ocular) que consiste en un tonómetro de aire modificado con doble medida. En la primera medida se aplana la córnea y antes de que vuelva a su posición se hace una segunda medida. Los valores del intervalo de tiempo entre tomas,y la deformación y presión utilizados dan un valor de la histéresis corneal.



Alteraciones biomecánicas en la cirugía refractiva

COI CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

Los estudios sobre este campo demuestran que hay alteración de la elasticidad corneal en ojos sometidos a cirugía refractiva. Esto es debido a la extensión del tratamiento realizado así como a la disminución del grosor y volumen

En estudios de medida de la PIO se han obtenido ecuaciones de regresión para medir la PIO postoperatoria que tienen en cuenta la variación del espesor corneal y la queratometría y, aunque estas ecuaciones son estadísticamente significativas, su coeficiente de regresión no es lo suficientemente elevado como para poder ser consideradas suficientemente precisas.

[20] Reichert Ophtalmic Instruments

Otros factores que afectan a la biomecánica corneal

Espesor corneal: Cuando se produce una deformación de la córnea se aplanan dos superficies, la anterior y la posterior. La deformación será menor cuanto mayor sea la distancia entre ambas superficie, esto es, el espesor corneal.

Curvatura corneal: Se ha demostrado que existe una correlación de las medidas obtenidas de presión intraocular de la córnea con los radios de curvatura de la misma. Se considera que cada 4 dioptrías de astigmatismo corneal anterior se modifica la medida de la PIO en un 1 mm. de Hg. Estos valores son válidos para las superficies de aplanación que utilizan los tonómetros pero no necesariamente extrapolables al moldeo corneal durante una sesión de submarinismo, porque la superficie de aplicación de la presiónes todo el ojo.

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

IV- MATERIAL Y MÉTODO

Material

Muestra

Para la realización del trabajo tomamos como muestra dos grupos de buceadores recreativos, uno en Cartagena y otro en Calabardina. Un total de 23, 14 hombres y 9 mujeres, con edades comprendidas entre los 25 y 56 años. Un total de 46 ojos.

Cuatro de ellos utilizaban lentes de contacto, dos gas permeables y dos hidrofílicas. Tres de ellos habían sido operados, uno de LASIK otro de PRK y otro se sometió a una facoemulsificación de cristalino con cataratas e inserción de lente intraocular.

Instrumental

COI CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

Contamos con la inestimable y desinteresada colaboración de Conóptica S.L. que a través de la solicitud de Fundación C.O.I nos prestó un topógrafo corneal modelo Óculus Easygraph con su correspondiente mentonera.

El Óculus es un topógrafo adaptable a cualquier lámpara de hendidura que permite el análisis informático de la superficie ocular a través de las imágenes reflejadas por sus 22 anillos de Plácido.

Muestra la información relativa a la córnea a través de las siguientes pantallas:

-Resumen

-Mapa en color grande

-Córnea en 3D

-Análisis de Fourier

-Análisis de Zernike

-Índices

-Examen comparativo

-Modo de visualización refractivo

-Mapa de altura

-Imagen de cámara

Gama de medición:	0.118"-0.1496", 9-99 D (3-38 mm, 9-99 mm)
Precisión:	+/- 0,2 D
Reproducibilidad:	+/- 0,2 D
No. de anillos:	22
Distancia de trabajo:	1.6" (40 mm)
No. de puntos de prueba:	22.000
Dimensiones A x P x An:	8.4" x 4.1" x 4.6" (214 x 103 x 116 mm)
Peso	1 libra 6 onzas (630 g)
Unidad de suministro de corriente	Entrada: 100-240 V Salida: 5V/ 1A

Datos técnicos del Óculus Easygraph

El procesamiento de los datos se hace con un ordenador portátil conectado con el puerto USB y bajo entorno Windows. En nuestro caso concreto utilizamos un portátil de Apple que simulaba entorno Windows a través de un software de máquina virtual.

Método

Nuestro primer destino fue Cartagena

Oficinas del centro de buceo "bubbles" en Cartagena

Realizamos dos tomas de medidas, una antes de la inmersión y otra después.

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Antes de la topografía inicial hicimos un cuestionario que incluía preguntas identificativas de los submarinistas, nombre y primer apellido así como la fecha de nacimiento. También preguntamos si habían sido sometidos a algún tipo de operación ocular y si eran usuarios de lentes de contacto.

Para los usuarios de lentes de contacto llevamos un portalentillas y un líquido para mantenerlas mientras hacíamos las medidas.

El equipo instalado dentro de la caseta

El tiempo era muy limitado así que aunque la intención inicial era tomar 3 topografías de cada buceador, sólo pudimos hacerlo en los primeros 3 sujetos.

En Cartagena analizamos un total de 22 ojos.

Nos aseguramos que en cada barco fueran un buceador con un ordenador de buceo para tener los datos exactos de la inmersión, que fueron.

CENTRO DE OPTOMETRIA INTERNACIONAL

- Profundidad máxima

- Profundidad media

- Hora de entrada al agua

- Hora de salida

- Tiempo total

-Tiempo de inmersión

-Tiempo transcurrido entre las dos inmersiones

-Tiempo de descompresión

-Profundidad de la descompresión

-Perfil de la inmersión

El tiempo transcurrido entre la salida del agua y la topografía era crítico para el estudio. Lo obtuvimos de la hora que indicaba el ordenador en la topografía y la hora de salida de los ordenadores de buceo.

Hicimos las medidas iniciales y los cuestionarios en un intervalo de 29 minutos primera medida a las 8:57 y la última a las 9:26 del día 24 de Junio. Fuimos llamando a los buceadores conforme su disponibilidad porque estaban bastante atareados equipándose. Después de tomarles las medidas les informamos de las preguntas que les haríamos después de la inmersión, tiempos y profundidades y nos aseguramos de tener al menos a un buceador en cada grupo con ordenador de buceo para tener los datos más precisos posibles.

Se utilizaron un total de dos barcos, el primero con 5 buceadores y el segundo con 6.

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Segundo barco, aún sin buceadores

El primer barco era rígido y de fibra, volvió a las 14:40, en el se hicieron dos inmersiones. El tiempo transcurrido entre la última inmersión y la topografía después de bucear de entre 1 hora y 22 minutos y 1 hora y 50 minutos.

El segundo barco era semirrígido y de tipo “zodiac”. Salió poco después que el primero, hicieron también dos inmersiones y volvió aproximadamente a las 15:15. El tiempo transcurrido entre que los buceadores salieron del agua hasta que se hicieron las topografías fue de entre 40 y 47 minutos. Este barco era más rápido y por tanto los tiempos transcurridos fueron menores.

Al día siguiente fuimos a Calabardina, que es pueblo costero próximo a Aguilar, también dentro de la comunidad murciana situado al sur casi en la frontera con Almería.

En este pueblo el Centro de buceo de Calabardina, situado a unos 100 metros de la playa, nos prestó desinteresadamente sus instalaciones para la realización del estudio.

Centro de buceo la Almadraba en Calabardina a pocos metros de la playa, un lugar con encanto

En esta ocasión analizamos la córnea de 12 buceadores, 24 ojos. El procedimiento fue el mismo que en Cartagena pero en esta ocasión no pudimos disponer de una habitación cerrada y controlamos que no hubiera iluminación excesiva utilizando una pantalla.

Grupo de buceadores esperando su turno

Todos los buceadores hicieron una sola inmersión, también en barco, saliendo desde el muelle situado en la playa. Los tiempos transcurridos desde la salida del agua hasta la segunda topografía fueron menores que en Calabardina , desde 29 minutos hasta 1 hora y 22 minutos.

CENTRO DE OPTOMETRIA INTERNACIONAL

El investigador se prestó también a la investigación

Aquí con Sergio, el otro componente del grupo en el trabajo de campo

COI
CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

V- RESULTADOS

A continuación presentamos los datos obtenidos ordenados en diferentes tablas según sus características y para que van a ser utilizados

Id del buceador	Edad	Sexo	Tipo de operación	Tiempo desde la operación	Tipo de lente de contacto
1	34	Mujer			
2	35	Mujer			
3	42	Hombre			
4	37	Hombre			
5	40	Mujer			
6	34	Mujer	Lásik en ambos	10 años	
7	38	Hombre			
8	52	Hombre			
9	27	Hombre			
10	27	Hombre			Lente de contacto
11	36	Hombre	Prk	2 meses	
12	50	Mujer	Cirugía de		Lente de contacto
13	34	Mujer			Lentes de contacto
14	49	Mujer			
15	29	Mujer			
16	56	Hombre			
17	31	Mujer			Lentes de contacto
18	25	Hombre			
19	47	Hombre			
20	48	Hombre			
21	47	Hombre			
22	44	Hombre			
23	37	Hombre			

Tabla 1

En la tabla 1 mostramos datos proporcionados por los submarinistas, edad, sexo, operaciones oculares, tiempo desde que se operaron y uso de lentes de contacto.

Id. del ojo	Superficie de córnea analizada antes de bucear (%)	Superficie de córnea analizada después de bucear (%)
1,00	72,00	79,00
2,00	75,00	76,00
3,00	75,00	75,00
4,00	76,00	69,00
5,00	71,00	77,00
6,00	73,00	63,00
7,00	77,00	82,00
8,00	76,00	80,00
9,00	78,00	76,00
10,00	61,00	61,00
11,00	77,00	80,00
12,00	82,00	80,00
13,00	76,00	79,00
14,00	83,00	78,00
15,00	56,00	65,00
16,00	71,00	73,00
17,00	78,00	71,00
18,00	82,00	78,00
19,00	56,00	48,00
20,00	62,00	63,00
21,00	74,00	60,00
22,00	64,00	53,00
23,00	65,00	77,00
24,00	75,00	55,00
25,00		
26,00		
27,00		
28,00		
29,00	63,00	80,00
30,00	57,00	74,00
31,00	58,00	62,00
32,00	63,00	43,00
33,00	78,00	75,00
34,00	84,00	81,00
35,00	68,00	56,00
36,00	63,00	56,00
37,00	73,00	66,00
38,00	57,00	62,00
39,00	74,00	80,00
40,00	71,00	76,00
41,00	67,00	60,00
42,00	69,00	63,00
43,00	66,00	71,00
44,00	72,00	66,00
45,00	72,00	67,00
46,00	73,00	73,00

Tabla 2

La tabla 2 presenta datos sobre la superficie corneal analizada por el topógrafo antes de la inmersión y después de la inmersión. Estos datos nos

serán útiles para saber la fiabilidad de los parámetros corneales obtenidos por el topógrafo y decidir cuales usamos y cuales no.

Los identificativos del 25 al 28 están vacios porque finalmente las topografías de ambos ojos tuvieron que desecharse debido probablemente a una mala iluminación [21]

A partir de aquí reasignaremos los identificativos de las topografías hasta un total de 42 ojos

Id del buceador	Profundidad media de la 1ª inmersión	Profundidad media de la 1ª inmersión 2	Profundidad máxima en la 1º inmersión	Profundidad máxima en la 2º inmersión
1	15	14	27,9	24,7
2	15	14	27,9	24,7
3	15	14	27,9	24,7
4	15	14	27,9	24,7
5	15	14	27,9	24,7
6	6		6	14
7	6		6	14
8	6		6	14
9	6		6	14
10	6		6	14
11	6		6	14
12			27,9	
13			27,9	
14			27,9	
15		12	25,4	
16			27,9	
17		12	25,4	
18		12	25,4	
19		22,51	26,8	
20		22,51	26,8	
21		22,51	26,8	
22		22,51	26,8	
23		14,3	24,7	

Tabla 3

En la tabla 3 tenemos los datos obtenidos de los buceadores con ordenador de buceo. Los buceadores estaban divididos en varios grupos y entre

[21] A partir de este punto reasignaremos los id´s de las topografías para llegar a un total de 42

cada uno de ellos elegimos a un buceador del que obtener los datos. Los datos de este ordenador de buceo son válidos para todos los componentes del grupo

Los datos de la profundidad media de algunos grupos no fue posible obtenerlos porque los ordenadores de buceo no disponían de esa opción.

A partir de la columna dos y tres hemos deducido la profundidad media de las dos inmersiones y a partir de la columna cuatro y cinco obtenemos la profundidad máxima media de ambas inmersiones.

Id del buceador	Duración de la 1ª inmersión	Duración de la 2ª inmersión	Hora de la topografía antes de la inmersión	Hora de la topografía después de la inmersión
1	0:48	0:48	9:57:00	14:13
2	0:48	0:48	10:00:00	13:47
3	0:48	0:48	10:04:00	13:45
4	0:48	0:48	10:06	13:54
5	0:48	0:48	10:09	13:49
6		0:40	10:12	15:15
7		0:40	10:14	15:17
8			10:18	15:13
9		0:40	10:20	15:11
10		0:40	10:22	15:10
11		0:40	10:25	15:15
12	0:46		9:22	11:20
13	0:46		9:25	11:26
14	0:46		9:27	11:24
15	0:56		9:29	11:29
16	0:46		9:31	11:23
17	0:56		9:33	11:30
18	0:56		9:36	11:32
19	0:55		9:38	12:37
20	0:55		9:40	12:10
21	0:55		9:42	12:09
22	0:55		9:44	12:23
23	0:55		9:48	11:59

Tabla 4

La tabla 4 muestra la duración de las inmersiones y las horas a las que se tomaron las topografías. Nos servirá para calcular el tiempo transcurrido desde la salida del agua hasta la toma de la segunda topografía que es un dato muy importante para poder analizar la regresión del moldeo corneal.

Id del buceador	¿Realizó parada de descompresión?	Tiempo de de descompresión en la 1ª inmersión	Tiempo de de descompresión en la 2ª inmersión	Profundidad de descompresión en la 1ª inmersión	Profundidad de descompresión en la 2ª inmersión
1	SI	0:05	0:05	3	3
2	SI	0:05	0:05	3	3
3	SI	0:05	0:05	3	3
4	SI	0:05	0:05	3	3
5	SI	0:05	0:05	3	3
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12	SI	0:06		6	
13	SI	0:06		6	
14	SI	0:06		6	
15	SI	0:03		3	
16	SI	0:06		6	
17	SI	0:03		3	
18	SI	0:03		3	
19					
20					
21					
22					
23					

Tabla 5

La tabla 5 muestra los datos relativos a la profundidad y paradas de descompresión de cada buceador.

CENTRO OPTOMETRIA INTERNACIONAL COI

Id. del ojo	K inicial (mm)	K final (mm)	Astigmatismo corneal inicial (dp)	Astigmatismo corneal final (dp)	Excentricidad inicial	Excentricidad final
1,00	8,46	8,45	-0,1	-0,2	0,63	0,65
2,00	8,54	8,45	-0,53	-0,5	0,64	0,68
3,00	8,07	8,03	-0,6	-0,5	0,42	0,41
4,00	8,04	7,94	-0,9	-0,6	0,43	0,45
5,00	8,04	8,01	-0,8	-0,8	0,37	0,41
6,00	8,06	8,05	-0,8	-0,7	0,46	0,48
7,00	7,67	7,65	-0,4	0,4	0,37	0,43
8,00	7,65	7,66	-0,3	-0,2	0,25	0,23
9,00	7,9	7,86	-0,5	-0,6	0,26	0,35
10,00	7,86	7,88	-0,7	-0,8	0,42	0,17
11,00	7,94	7,87	-1,1	-1,1	-0,22	-0,21
12,00	7,94	7,95	-0,8	-0,7	-0,11	-0,22
13,00	8,08	8,11	0,1	-0,1	0,24	0,2
14,00	8,11	8,18	0,5	0,4	0,38	0,34
15,00	8,15	7,87	-2,8	-2,5	0,31	0,44
16,00	7,94	7,84	-1,9	-2,2	0,51	0,52
17,00	8,17	8,18	-0,9	-0,9	0,38	0,4
18,00	8,3	8,2	-0,5	-0,9	0,32	0,32
19,00	7,95	7,96	-0,5	-0,9	0,31	0,37
20,00	8,06	8,12	-1,1	-0,7	0,27	0,13
21,00	8,3	8,32	-1,2	-1,1	-0,01	-0,19
22,00	8,24	8,22	-0,6	-0,8	0,09	0,04
23,00	7,24	7,21	-1,6	-1,4	0,43	0,34
24,00	7,52	7,58	-2,4	-2,3	0,5	0,6
25,00	7,84	7,81	-1	-1	0,32	0,29
26,00	7,91	7,81	-1	-1	0,48	0,3
27,00	8,08	8,21	-0,9	-0,3	0,42	0,34
28,00	7,95	8,12	-0,2	-0,7	0,49	0,78
29,00	7,93	7,9	-1,1	-1,1	0,46	0,51
30,00	7,99	7,86	-0,5	-0,5	0,44	0,42
31,00	7,61	7,55	1,5	1,2	0,44	0,61
32,00	7,68	7,66	1,3	1,2	0,58	0,55
33,00	7,97	7,96	-0,5	-0,5	0,51	0,52
34,00	7,92	7,9	-0,3	-0,4	0,58	0,55
35,00	8,14	8,11	-0,5	-0,4	0,48	0,39
36,00	8,06	8,13	-0,5	-0,5	0,39	0,35
37,00	7,81	7,8	-0,7	-0,5	0,51	0,56
38,00	7,89	7,95	-0,5	-0,5	0,62	0,59
39,00	8,02	7,96	1,1	0,8	0,4	0,2
40,00	7,88	7,82	0,4	0,3	0,4	0,38
41,00	7,94	8,14	-1,4	-1,3	0,58	0,59
42,00	8,36	8,18	-1,4	-1,4	0,59	0,59

Tabla 6

La tabla 6 contienen el K, el astigmatismo corneal y la excentricidades inicial y final[22] de los 4 milímetros centrales de la córnea. Si restamos los

[22] Entendemos por inicial y final, los datos antes y después de la inmersión.

valores finales a los iniciales sabremos el aumento de k, astigmatismo corneal y excentricidad.

Id. del ojo	Sector 1 (dp.)	Sector 2 (dp.)	Sector 3 (dp.)	Sector 4 (dp.)	Sector 5 (dp.)
1	-0,2	-0,21	-0,17	-0,13	-0,24
2	-0,06	-0,01	-0,2	-0,13	-0,07
3	0,24	0,22	0,16	0,2	0,05
4	0,31	0,15	0,06	0,34	0,06
5	-0,24	-0,42	-0,34	-0,05	-0,19
6	0,04	0,05	0,18	-0,08	-0,04
7	-0,23	-0,31	-0,21	-0,07	-0,23
8	0,14	0,18	0,05	0,07	0,02
9	0,95	0,61	0,96	0,87	0,55
10	-0,39	-0,18	0,23	-0,18	-0,27
11	0,06	0,1	-0,16	-0,15	0
12	0,11	-0,05	0,13	0,2	-0,01
13	0,23	0,28	0,5	0,4	0,35
14	-0,87	-0,59	-0,75	-0,71	-0,5
15	1,73	1,36	0,95	1,24	1,24
16	0,32	0,08	0,61	0,38	0,14
17	-0,3	-0,11	-0,1	-0,33	-0,26
18	0,24	0,27	0,39	0,07	0,42
19	0,32	0,51	1,22	0,33	0,44
20	-0,25	-0,33	-0,36	-0,13	-0,42
21	-0,27	-0,24	-0,22	-0,29	-0,47
22	0,09	0,12	0,59	0,21	0,1
23	-0,01	-0,05	-0,12	0,46	-0,13
24	-1,89	-1,24	-2,02	-1,29	-0,72
25	0,2	0,2	0,19	0,23	0,17
26	0,37	0,48	0,34	0,39	0,48
27	-0,57	-0,5	-1,47	-0,52	-0,31
28	-0,79	-0,94	-0,46	-0,98	-0,74
29	0,2	0,3	0,34	0,08	-0,03
30	0,36	0,29	0,42	0,51	0,45
31	0,27	0,19	0,32	0,3	0,38
32	0	0,02	-0,11	-0,03	0,37
33	-0,3	-0,37	-0,21	-0,29	-0,35
34	0,04	0,17	0,3	0,13	0,2
35	0,3	0,16	0,18	0,12	-0,56
36	-0,05	0,32	-0,19	-0,13	0,37
37	0,18	0,42	0,26	0,33	0,12
38	-0,41	-0,23	-0,13	-0,32	-0,36
39	0,07	0,02	0,84	0,29	-0,03
40	0,47	0,22	0,38	0,53	0,33
41	-1,2	-1,24	-1,16	-1,16	-1,4
42	0,58	0,63	0,58	0,61	0,6

Tabla 7

La tabla 7 contiene los datos del mapa "comparativo refractivo" que se obtiene restando la topografía inicial a a final y referido para cada sector corneal que posteriormente definiremos

Id de la topografía	Sector 1 (dp.)	Sector 2 (dp.)	Sector 3 (dp.)	Sector 4 (dp.)	Sector 5 (dp.)
d3-1	-0,4	-0,22	-0,16	-0,13	-0,35
d2-1	-0,47	-0,14	-0,33	-0,68	-0,33
d3-2	-0,07	0,07	-0,16	-0,56	0,02
i3-1	1,09	0,79	1,33	0,79	0,59
i2-1	0,61	0,44	0,84	0,51	0,32
i3-2	0,48	0,35	0,49	0,28	0,35
d3-1	-0,55	-0,61	-0,6	-0,57	-0,57
d2-1	-0,11	-0,17	-0,25	-0,11	-0,13
d3-2	-0,44	-0,44	-0,35	-0,46	-0,45
i3-1	0,15	0,17	0,15	0,17	0,33
i2-1	-0,26	-0,29	-0,29	-0,22	-0,21
i3-2	0,41	0,46	0,44	0,39	0,54

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

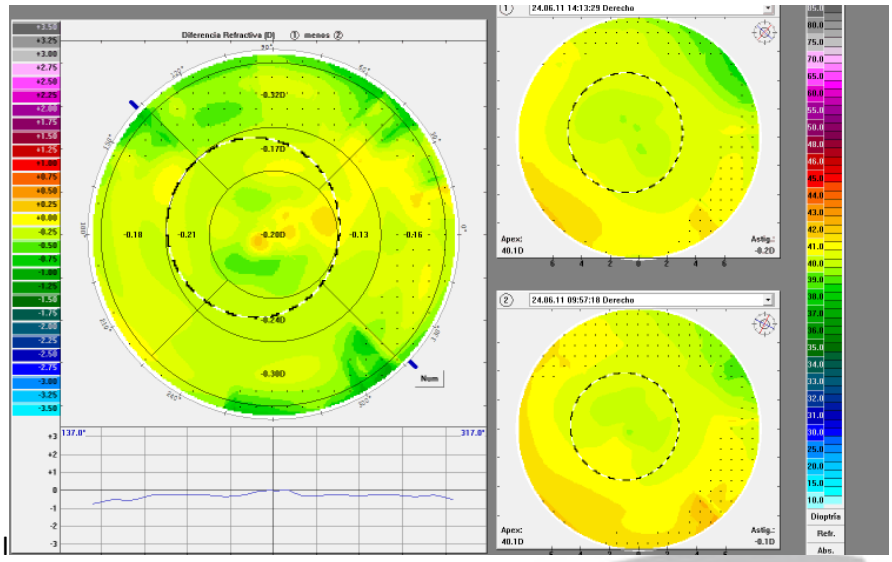
Tabla 8

Por último, tenemos la tabla 8. Contiene los moldeos resultantes de los datos obtenidos en 9 mapas comparativos refractivos de de 4 córneas con 3 topografías cada una.

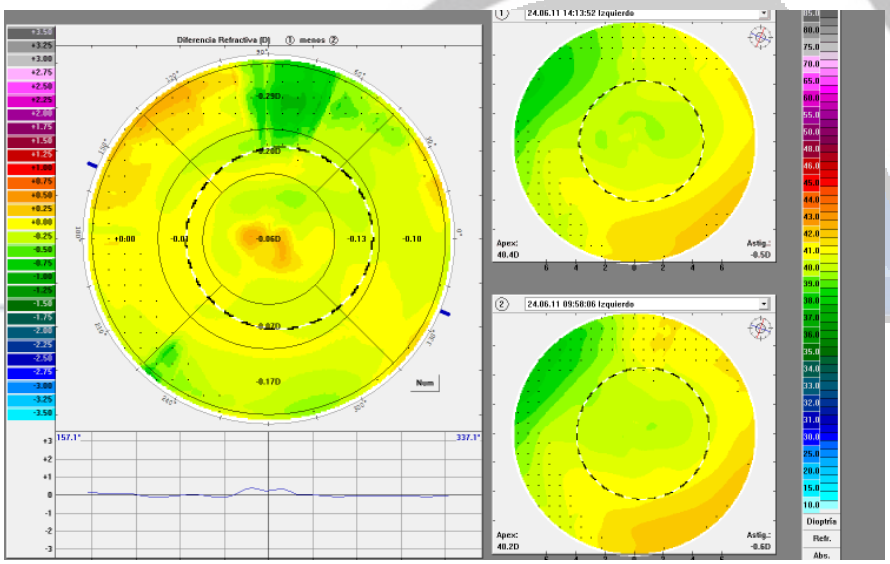
La utilizaremos para hacer un análisis de la desviación típica del topógrafo corneal con el que estamos trabajando, dividido en 5 sectores corneales.

A continuación mostramos el mapa comparativo refractivo de cada Id. dividido por sectores corneales

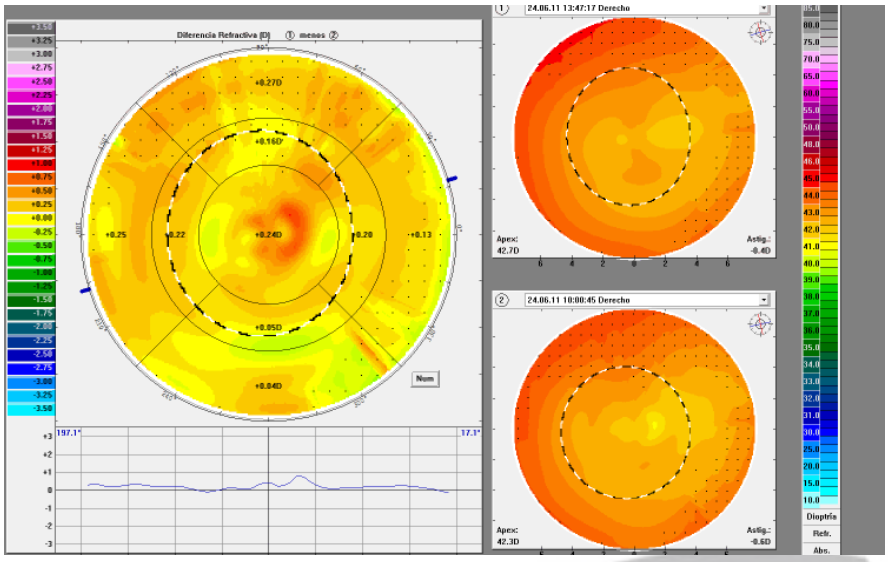
Id 1


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 14:13:29 Derecho
24.06.11 09:57:18 Derecho
Apex: 40.1D
Astig.: -0.2D
Apex: 40.1D
Astig.: -0.1D
Dioptría
Refr.
Abs.

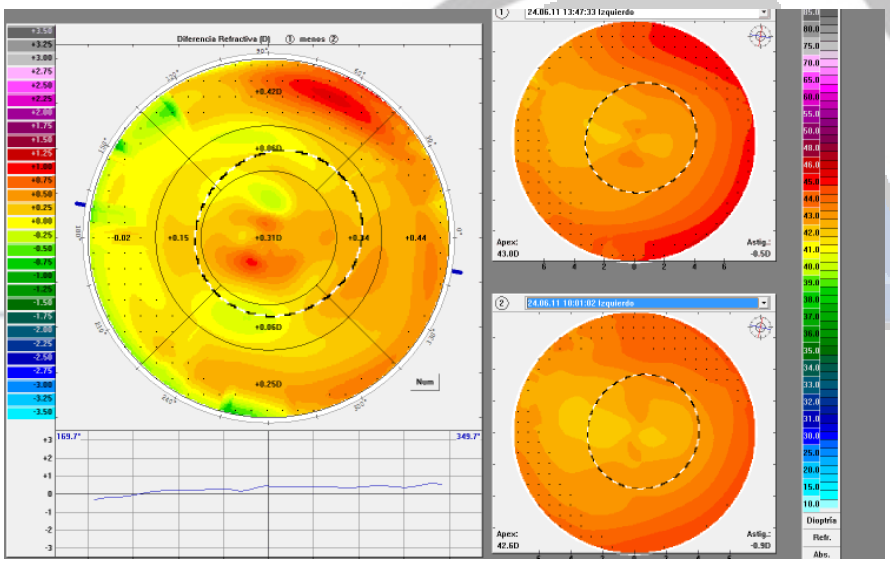
Id 1


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 14:13:52 Izquierdo
24.06.11 09:58:06 Izquierdo
Apex: 40.4D
Astig.: -0.5D
Apex: 40.2D
Astig.: -0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

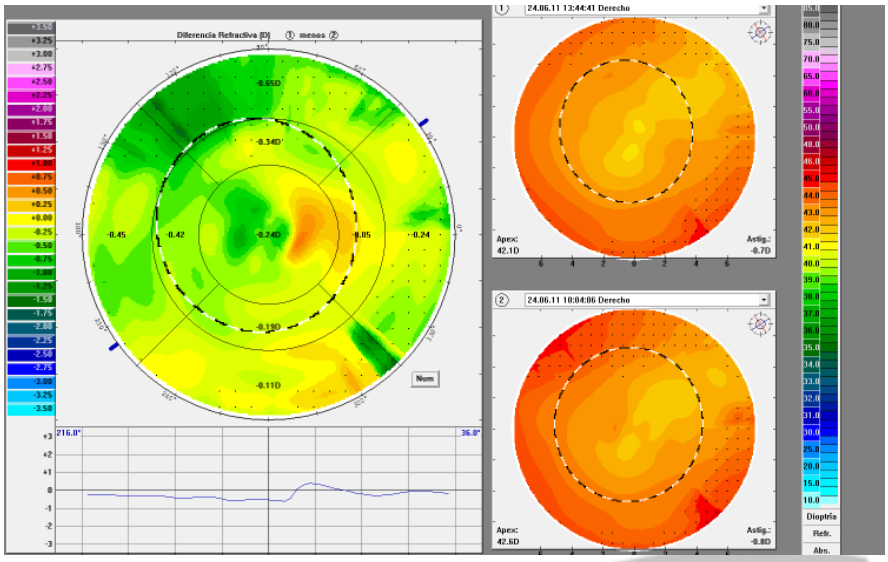
Id 2


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 13:47:17 Derecho
24.06.11 10:00:45 Derecho
Apex: 42.7D
Astig.: -0.4D
Apex: 42.3D
Astig.: -0.6D
Dioptría
Refr.
Abs.

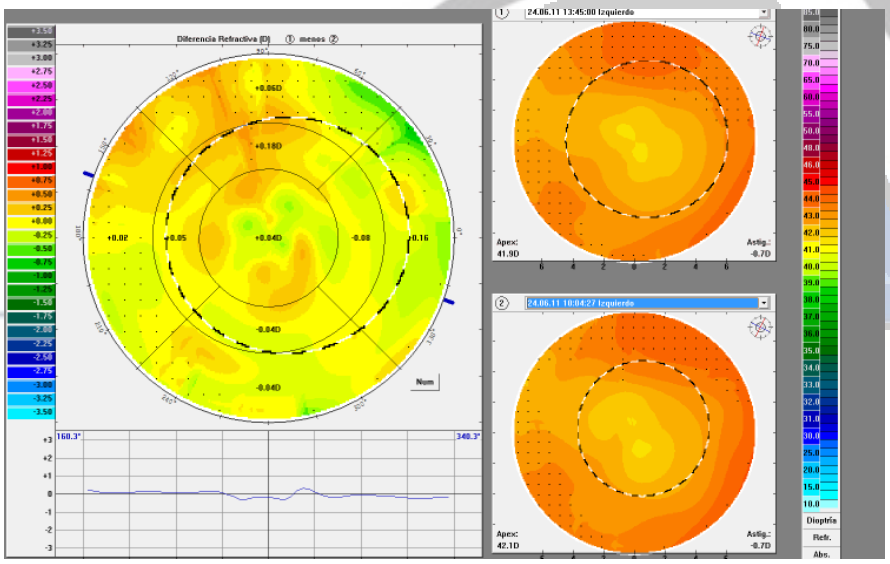
Id 3


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 13:47:33 Izquierdo
24.06.11 10:01:02 Izquierdo
Apex: 43.0D
Astig.: -0.5D
Apex: 42.6D
Astig.: -0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

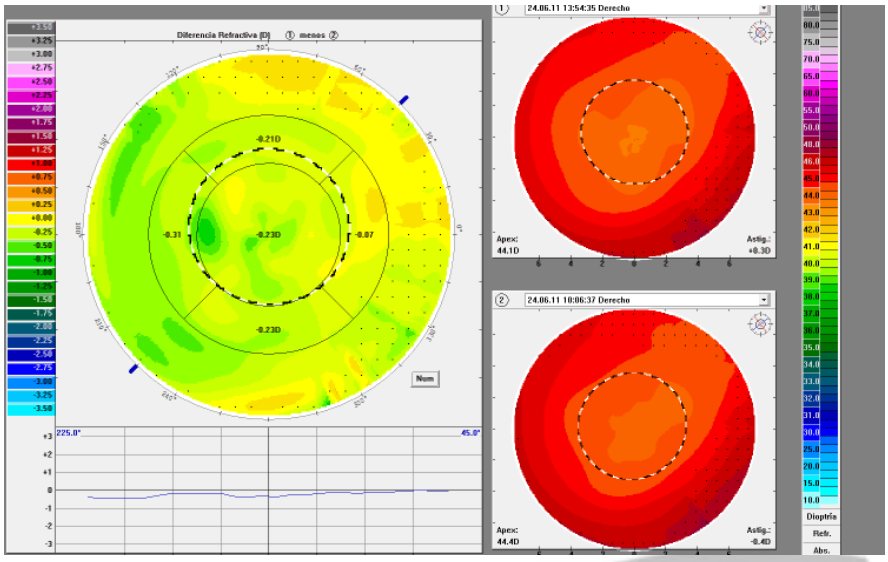
Id 4


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
24.06.11 13:44:41 Derecho
24.06.11 10:04:06 Derecho
Apex: 42.1D
Astig.: -0.7D
Apex: 42.6D
Astig.: -0.8D
Dioptría
Refr.
Abs.

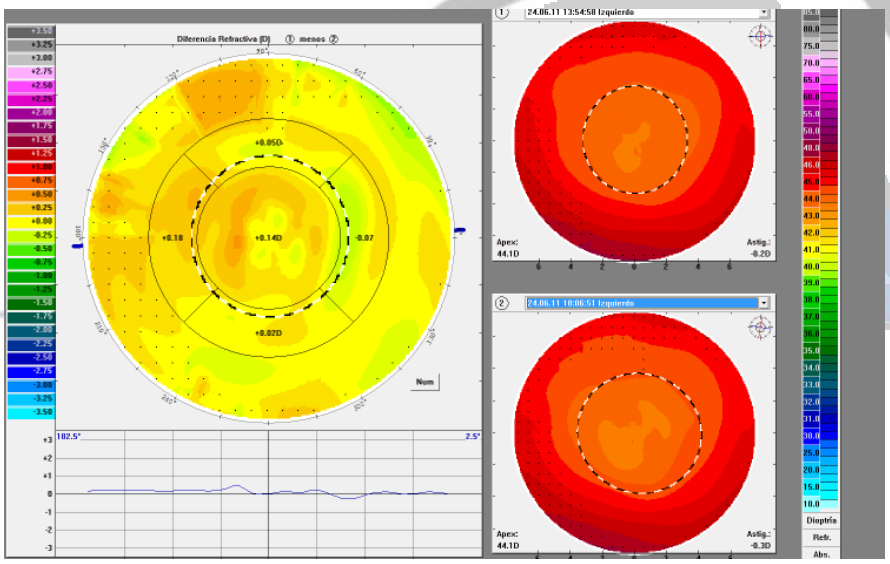
Id 5


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
24.06.11 13:45:00 Izquierdo
24.06.11 10:04:27 Izquierdo
Apex: 41.9D
Astig.: -0.7D
Apex: 42.1D
Astig.: -0.7D
Dioptría
Refr.
Abs.

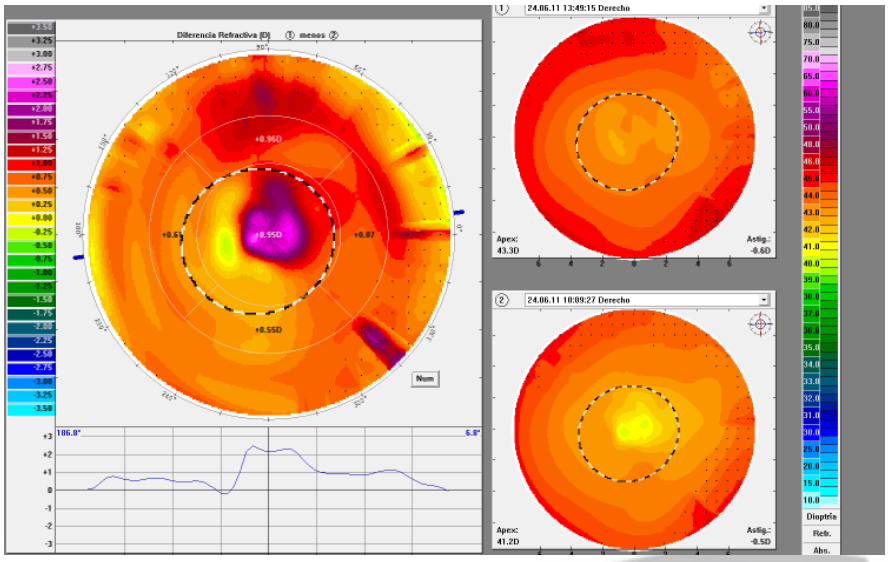
Id 6


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
-0.21D
-0.31
-0.23D
-0.07
-0.23D
Num
225.0°
45.0°
24.06.11 13:54:35 Derecho
Apex:
44.1D
Astig.:
+0.3D
24.06.11 10:06:37 Derecho
Apex:
44.4D
Astig.:
-0.4D
Dioptría
Refr.
Abs.

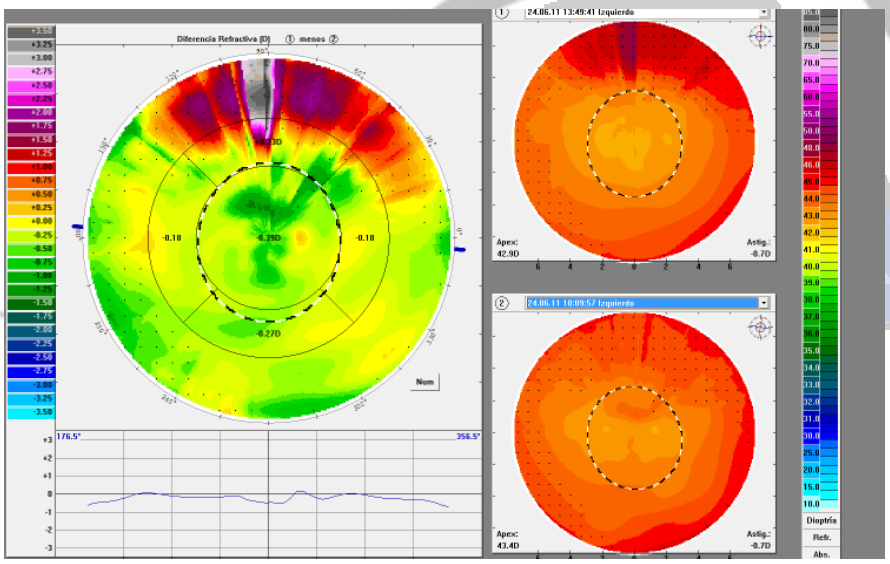
Id 7


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
+0.05D
+0.18
+0.14D
-0.07
+0.02D
Num
182.5°
2.5°
24.06.11 13:54:58 Izquierdo
Apex:
44.1D
Astig.:
-0.2D
24.06.11 10:06:51 Izquierdo
Apex:
44.1D
Astig.:
-0.3D
Dioptría
Refr.
Abs.

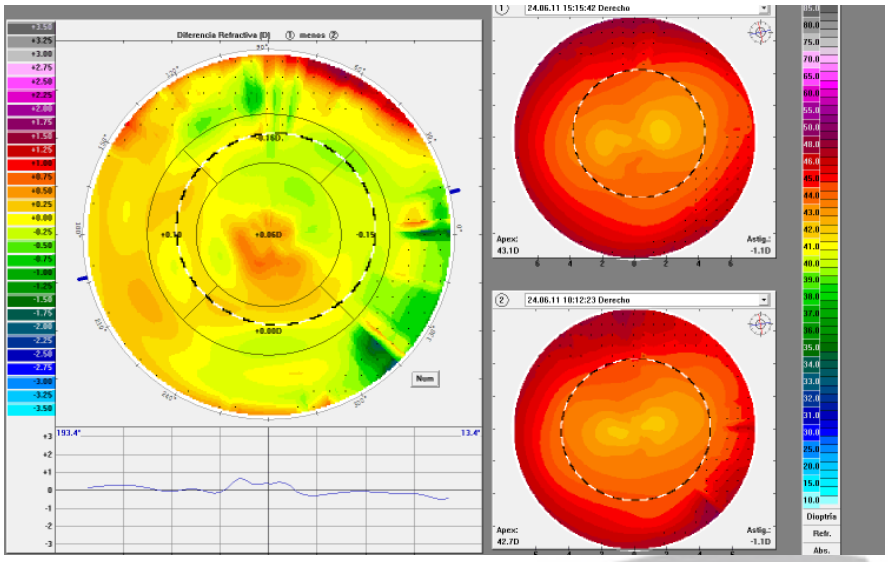
Id 8


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 13:49:15 Derecho
24.06.11 10:09:27 Derecho
Apex: 43.3D
Astig.: -0.6D
Apex: 41.2D
Astig.: -0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

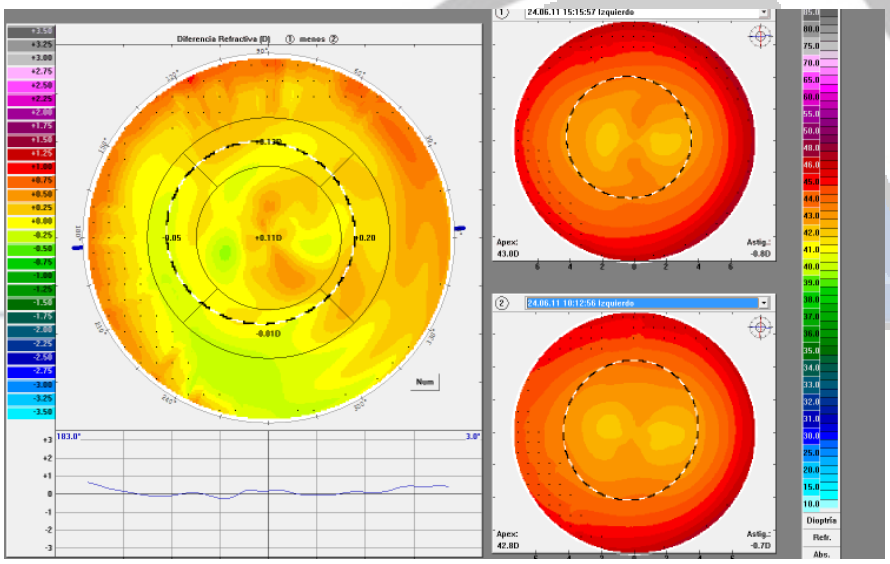
Id 9


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 13:49:41 Izquierdo
24.06.11 10:09:57 Izquierdo
Apex: 42.9D
Astig.: -0.7D
Apex: 43.4D
Astig.: -0.7D
Dioptría
Refr.
Abs.

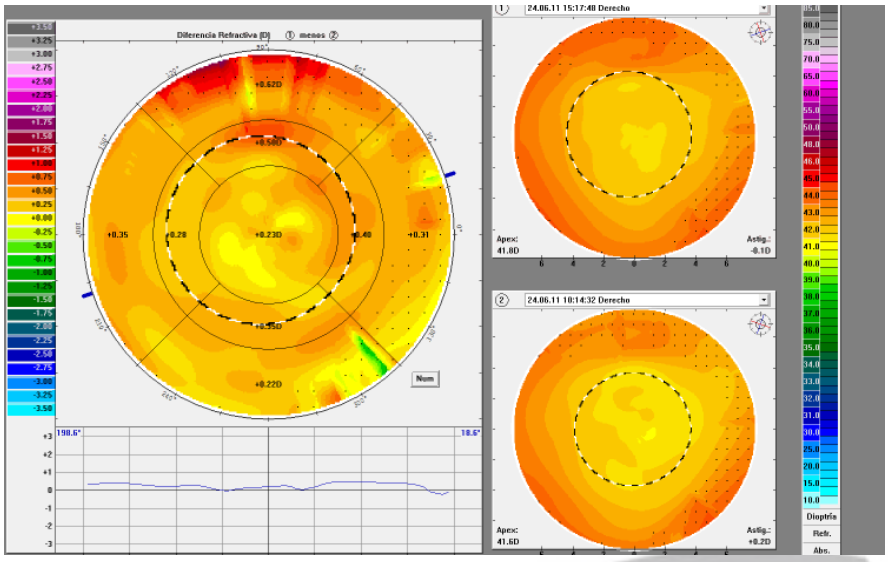
Id 10


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
24.06.11 15:15:42 Derecho
24.06.11 10:12:23 Derecho
Apex: 43.1D
Astig.: -1.1D
Apex: 42.7D
Astig.: -1.1D
Dioptría
Refr.
Abs.

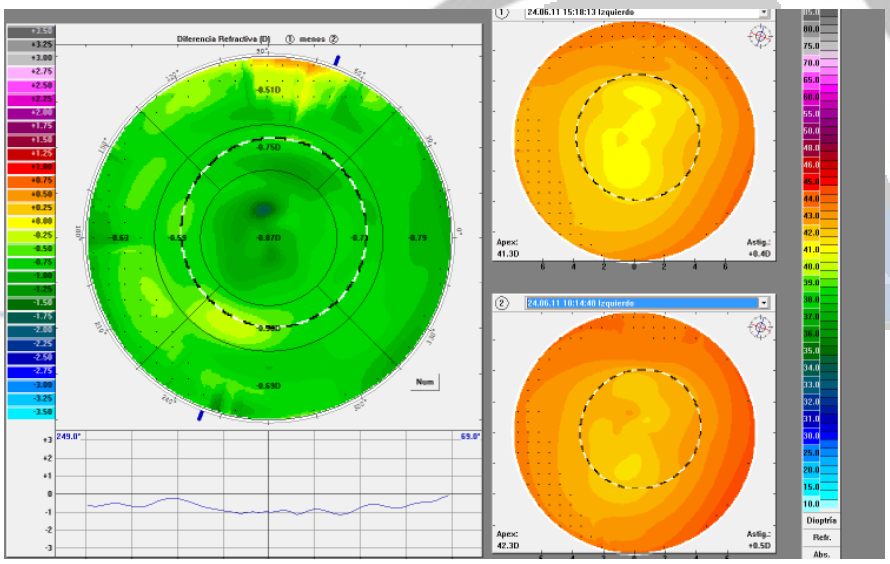
Id 11


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
24.06.11 15:15:57 Izquierdo
24.06.11 10:12:56 Izquierdo
Apex: 43.8D
Astig.: -0.8D
Apex: 42.8D
Astig.: -0.7D
Dioptría
Refr.
Abs.

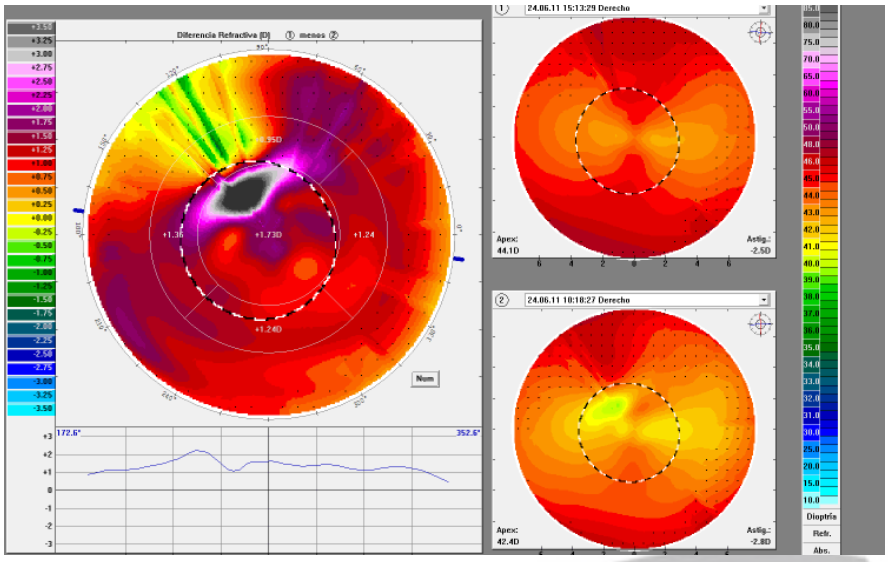
Id 12


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 15:17:40 Derecho
24.06.11 10:14:32 Derecho
Apex: 41.8D
Astig.: -0.1D
Apex: 41.6D
Astig.: +0.2D
Dioptría
Refr.
Abs.

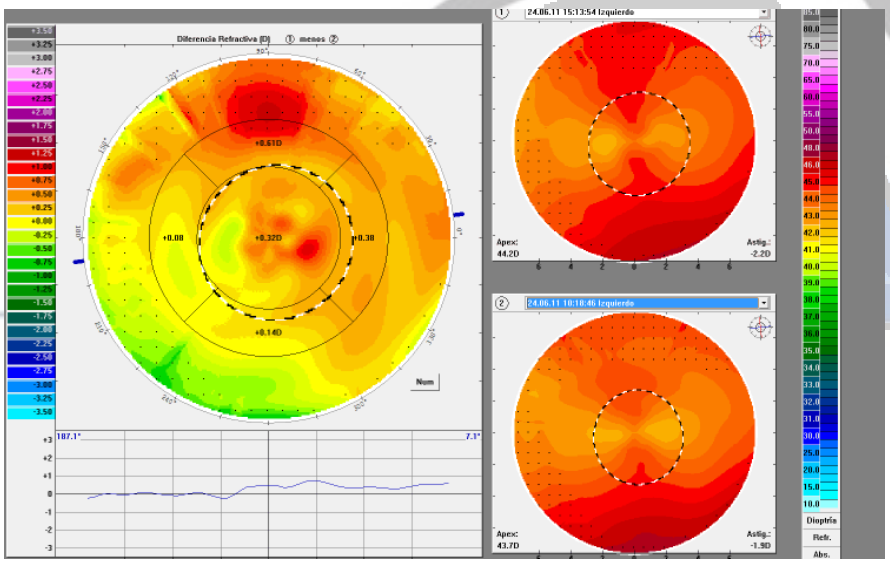
Id 13


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 15:18:13 Izquierdo
24.06.11 10:14:40 Izquierdo
Apex: 41.3D
Astig.: +0.4D
Apex: 42.3D
Astig.: +0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

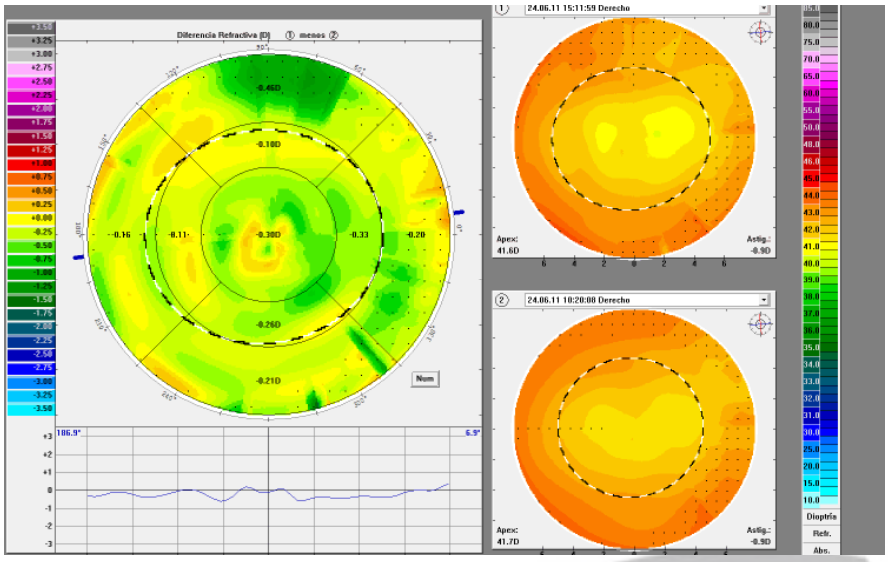
Id 14


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
+1.73D
+1.24
+1.24D
24.06.11 15:13:29 Derecho
Apex: 44.1D
Astig.: -2.5D
24.06.11 10:18:27 Derecho
Apex: 42.4D
Astig.: -2.8D
Dioptría
Refr.
Abs.

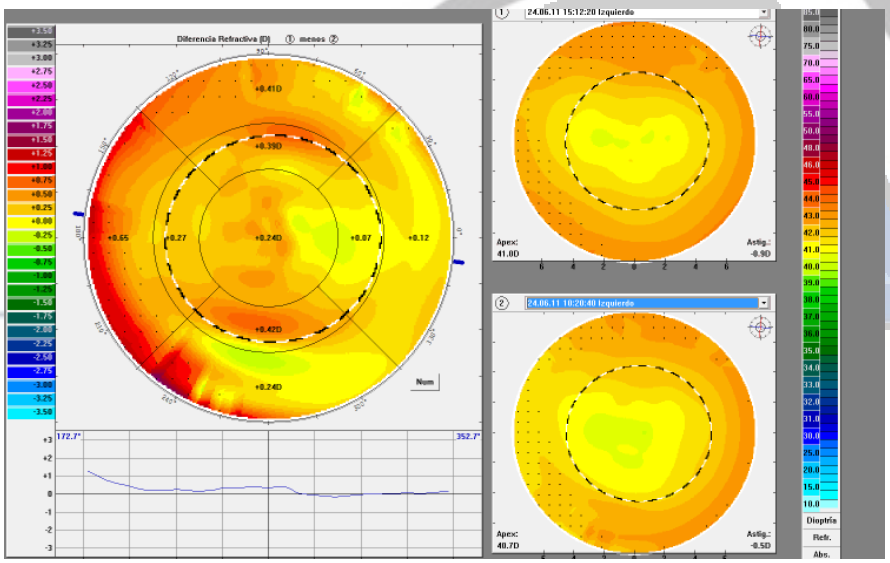
Id 15


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
+0.61D
+0.00
+0.32D
+0.38
+0.14D
24.06.11 15:13:54 Izquierdo
Apex: 44.2D
Astig.: -2.2D
24.06.11 10:18:46 Izquierdo
Apex: 43.7D
Astig.: -1.9D
Dioptría
Refr.
Abs.

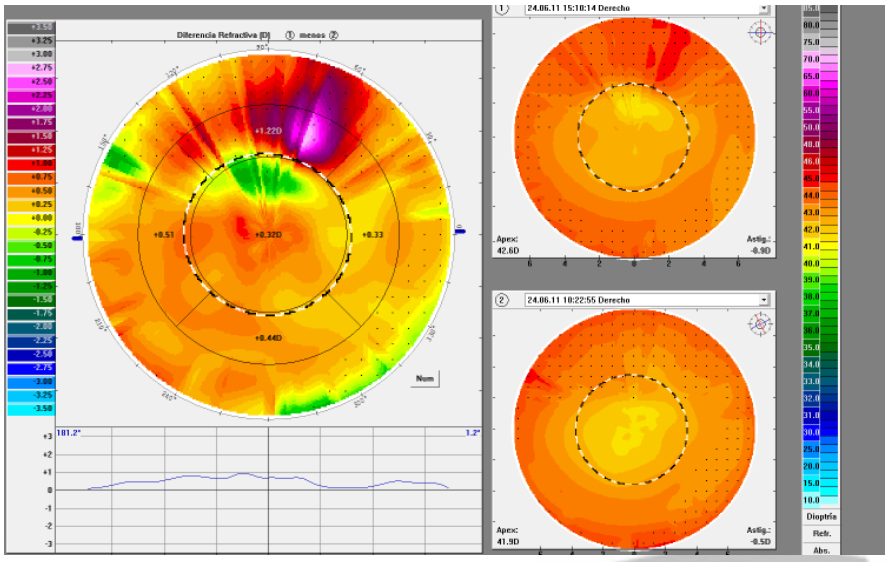
Id 16


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 15:11:59 Derecho
24.06.11 10:20:08 Derecho
Apex: 41.6D
Astig.: -0.9D
Apex: 41.7D
Astig.: -0.9D
Num
Dioptría
Refr.
Abs.

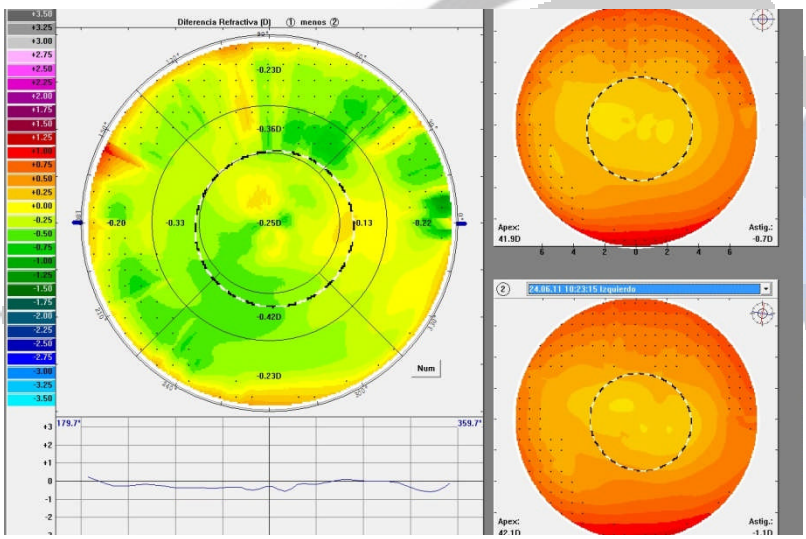
Id 17


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
24.06.11 15:12:20 Izquierdo
24.06.11 10:20:40 Izquierdo
Apex: 41.8D
Astig.: -0.9D
Apex: 40.7D
Astig.: -0.5D
Num
Dioptría
Refr.
Abs.

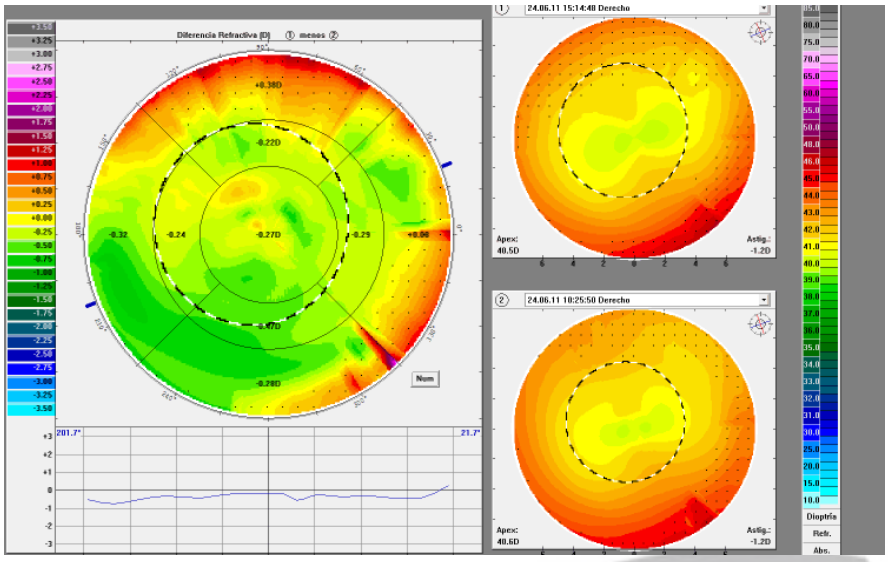
Id 18


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
+1.22D
+0.51
+0.32D
+0.33
+0.44D
Num
24.06.11 15:10:14 Derecho
Apex:
42.6D
Astig.:
-0.9D
24.06.11 10:22:55 Derecho
Apex:
41.9D
Astig.:
-0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

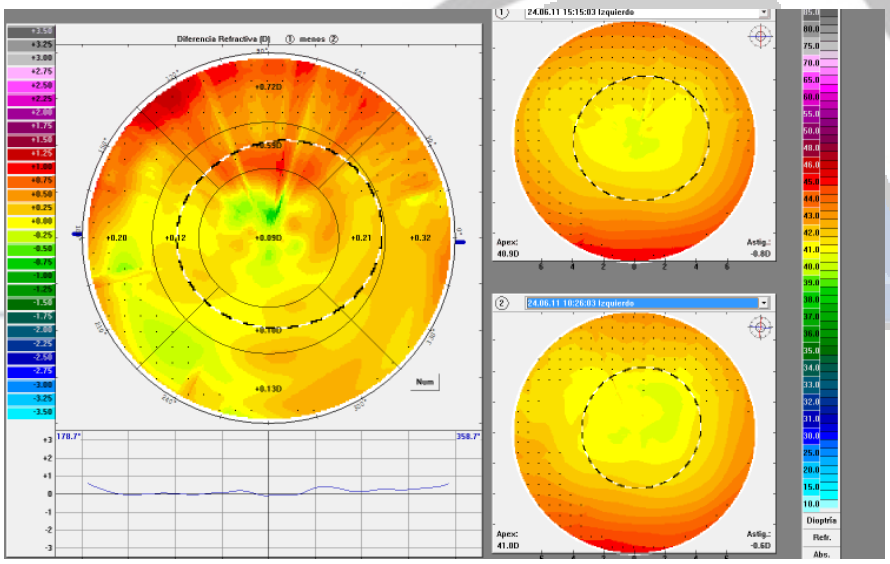
Id 19


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
-0.23D
-0.36D
-0.20
-0.33
-0.25D
+0.13
-0.42D
-0.23D
Num
179.7°
359.7°
Apex:
41.9D
Astig.:
-0.7D
24.06.11 10:23:15 Izquierdo
Apex:
Astig.:

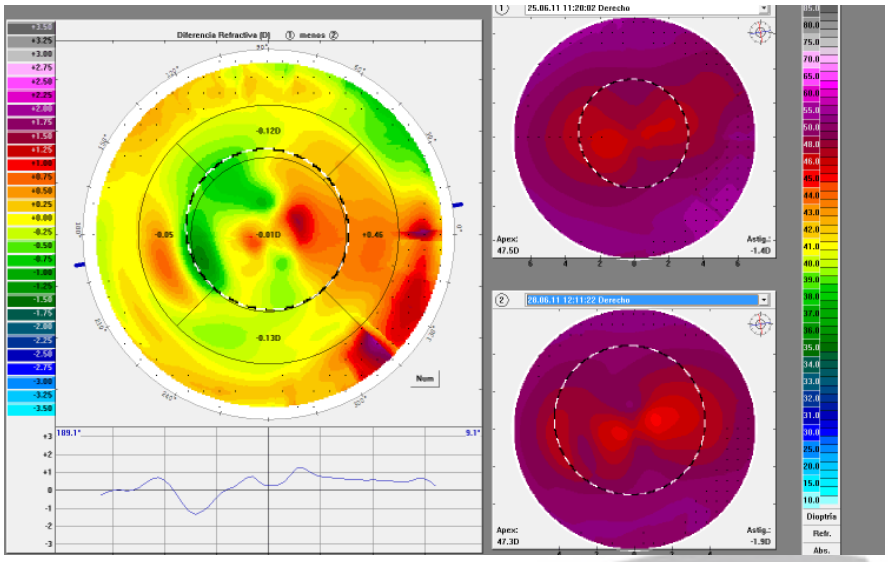
Id 20


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
24.06.11 15:14:48 Derecho
24.06.11 10:25:50 Derecho
Apex: 40.5D
Astig.: -1.2D
Apex: 40.6D
Astig.: -1.2D
Dioptría
Refr.
Abs.

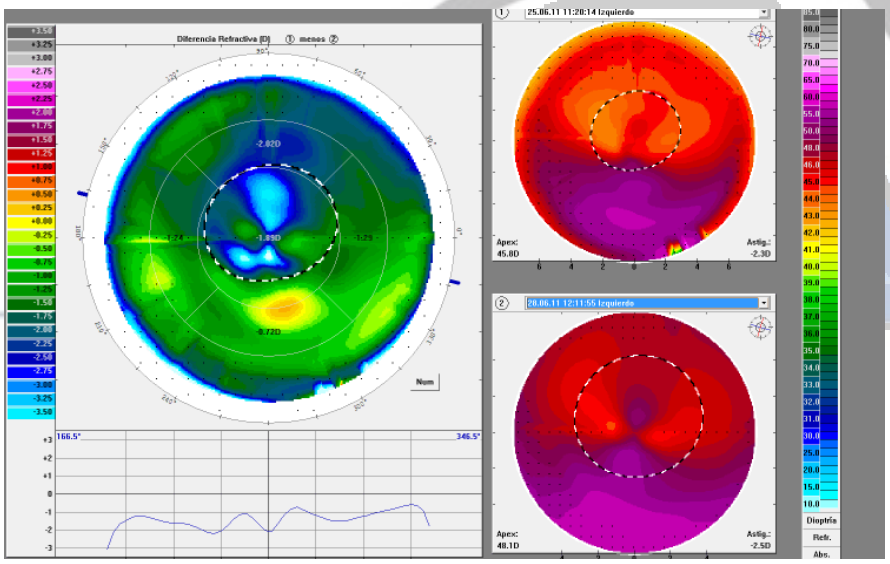
Id 21


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
24.06.11 15:15:03 Izquierdo
24.06.11 10:26:03 Izquierdo
Apex: 40.9D
Astig.: -0.8D
Apex: 41.0D
Astig.: -0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

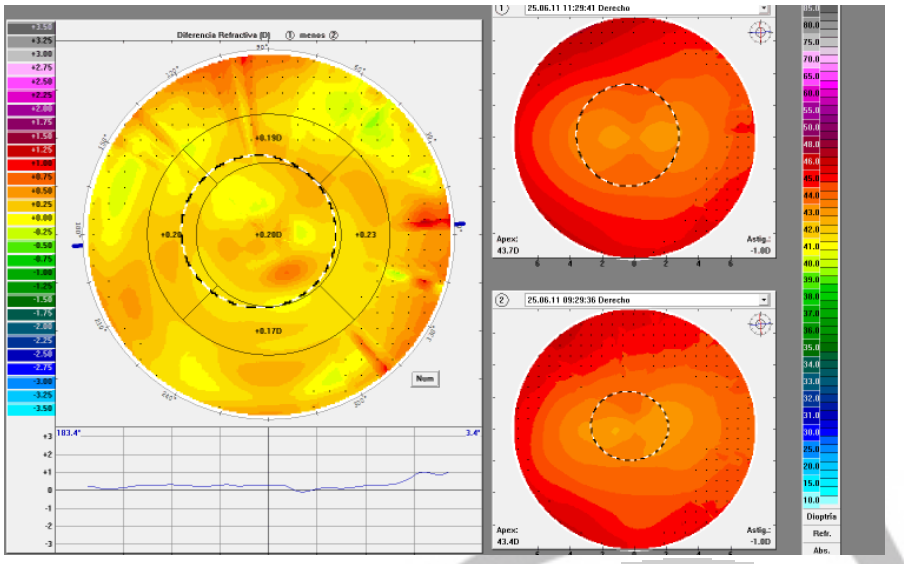
Id 22


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
25.06.11 11:20:02 Derecho
20.06.11 12:11:22 Derecho
Apex: 47.5D
Astig.: -1.4D
Apex: 47.3D
Astig.: -1.9D
Dioptría
Refr.
Abs.

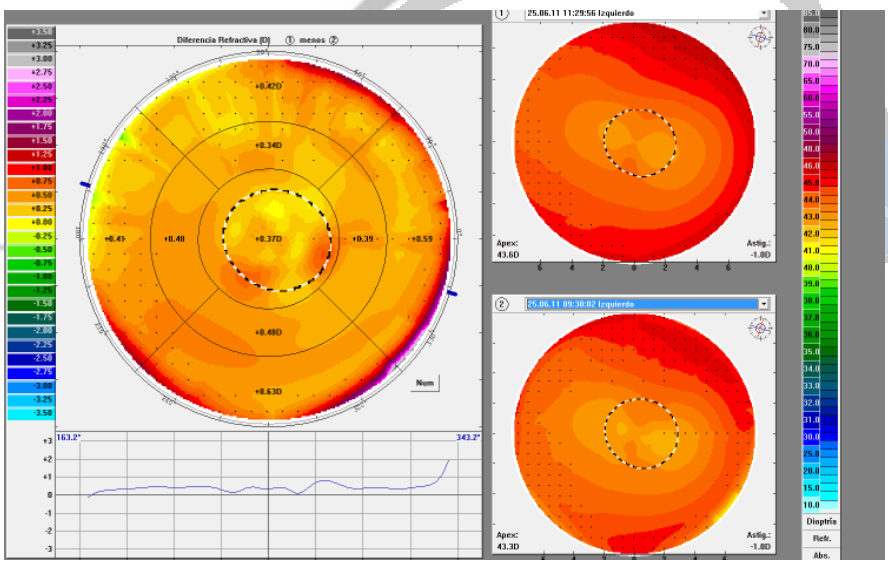
Id 23


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
25.06.11 11:20:14 Izquierdo
20.06.11 12:11:55 Izquierdo
Apex: 45.8D
Astig.: -2.3D
Apex: 48.1D
Astig.: -2.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

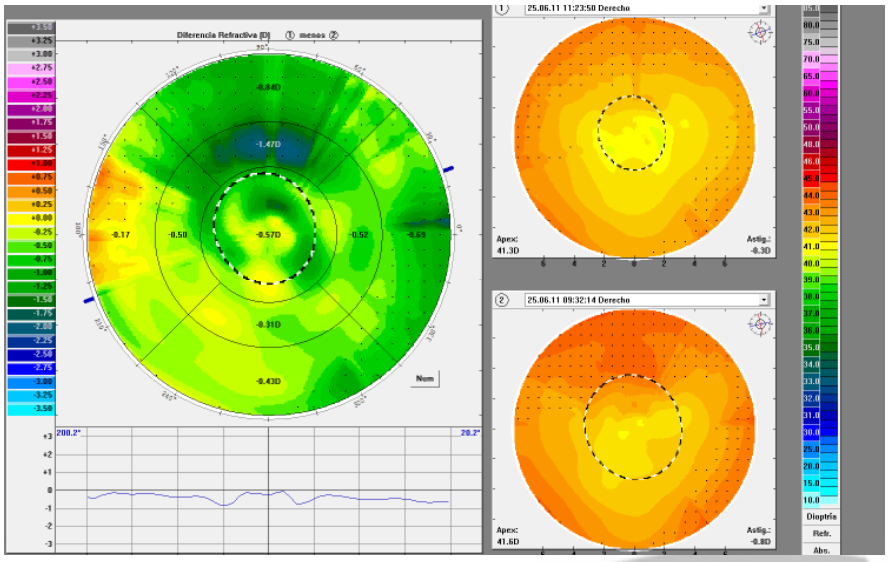
Id 24


Diferencia Refractiva (D)
menos
+0.19D
+0.20D
+0.23
+0.17D
Num
25.06.11 11:29:41 Derecho
Apex: 43.7D
Astig.: -1.8D
25.06.11 09:29:36 Derecho
Apex: 43.4D
Astig.: -1.8D
Dioptría
Refr.
Abs.

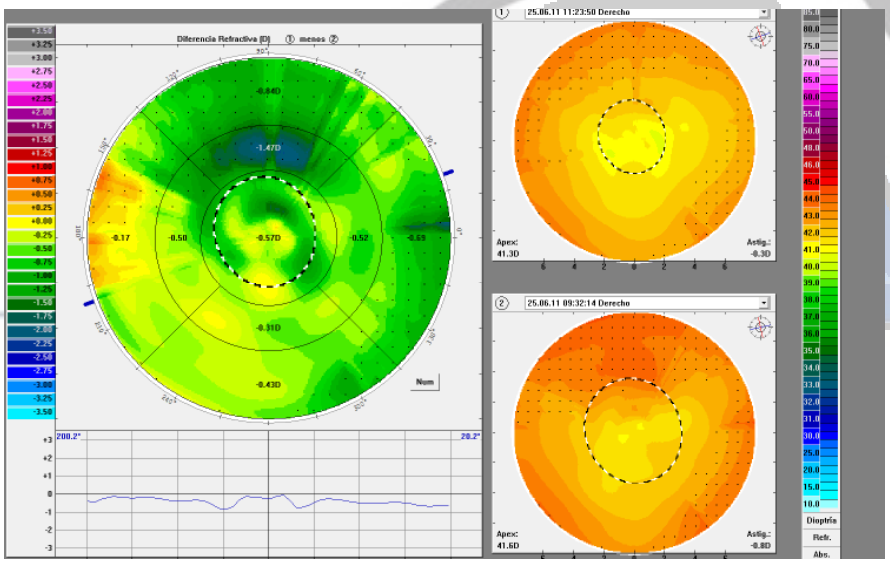
Id 26


Diferencia Refractiva (D)
menos
+0.42D
+0.34D
+0.37D
+0.39
+0.59
+0.48D
+0.63D
Num
25.06.11 11:29:56 Izquierdo
Apex: 43.6D
Astig.: -1.8D
25.06.11 09:30:02 Izquierdo
Apex: 43.3D
Astig.: -1.8D
Dioptría
Refr.
Abs.

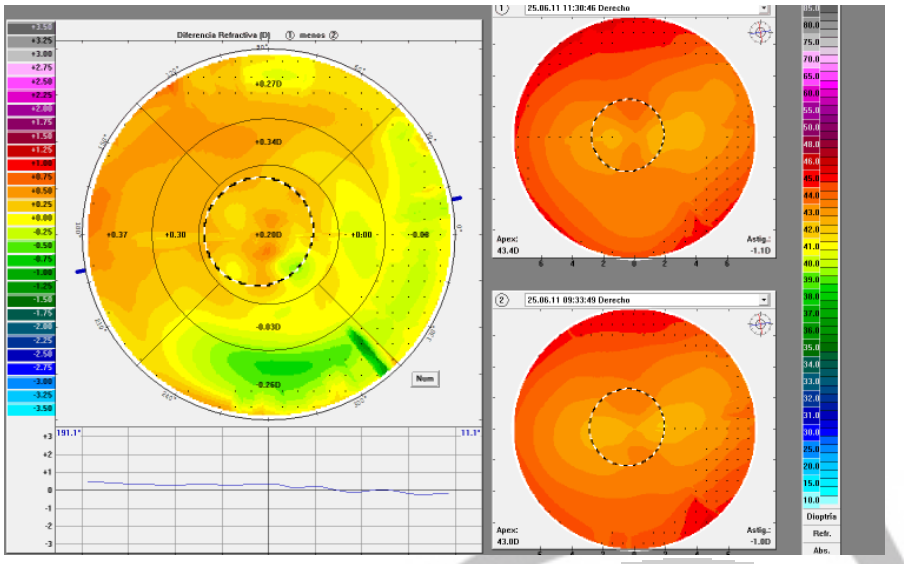
Id 27


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
25.06.11 11:23:50 Derecho
25.06.11 09:32:14 Derecho
Apex: 41.3D
Astig.: -0.3D
Apex: 41.6D
Astig.: -0.8D
Dioptría
Refr.
Abs.

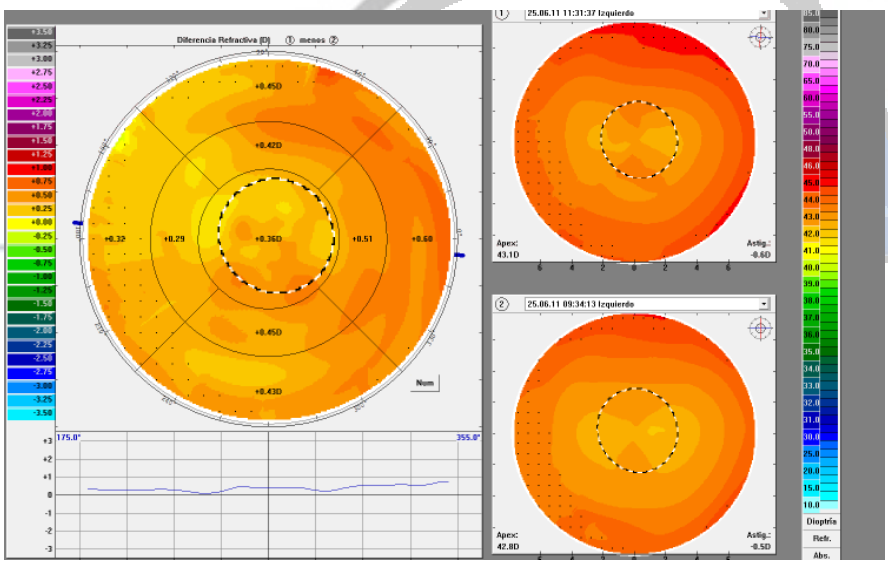
Id 28


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
25.06.11 11:23:50 Derecho
25.06.11 09:32:14 Derecho
Apex: 41.3D
Astig.: -0.3D
Apex: 41.6D
Astig.: -0.8D
Dioptría
Refr.
Abs.

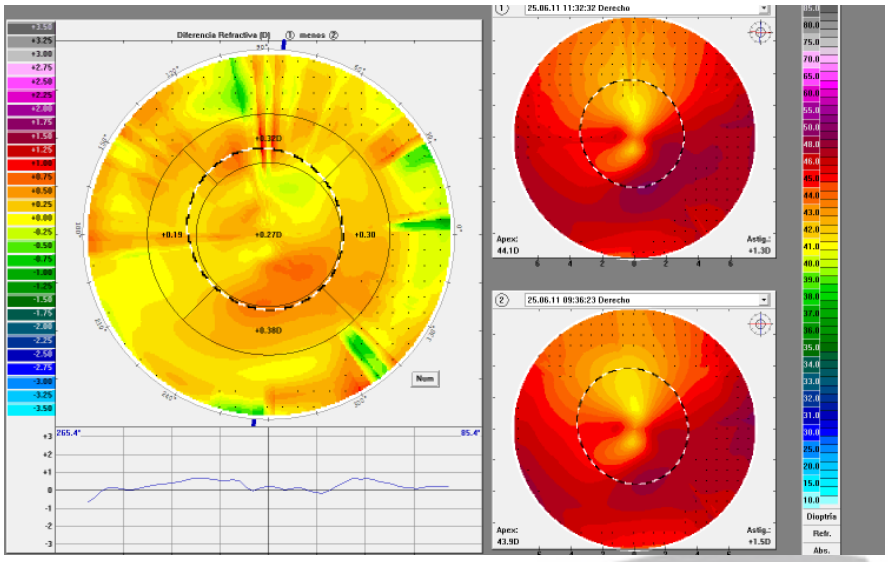
Id 29


Diferencia Refractiva (D)
menos
+0.27D
+0.34D
+0.37
+0.30
+0.20D
+0.00
-0.00
-0.03D
-0.26D
Num
191.1°
11.1°
25.06.11 11:30:46 Derecho
Apex: 43.4D
Astig.: -1.1D
25.06.11 09:33:49 Derecho
Apex: 43.0D
Astig.: -1.0D
Dioptría
Refr.
Abs.

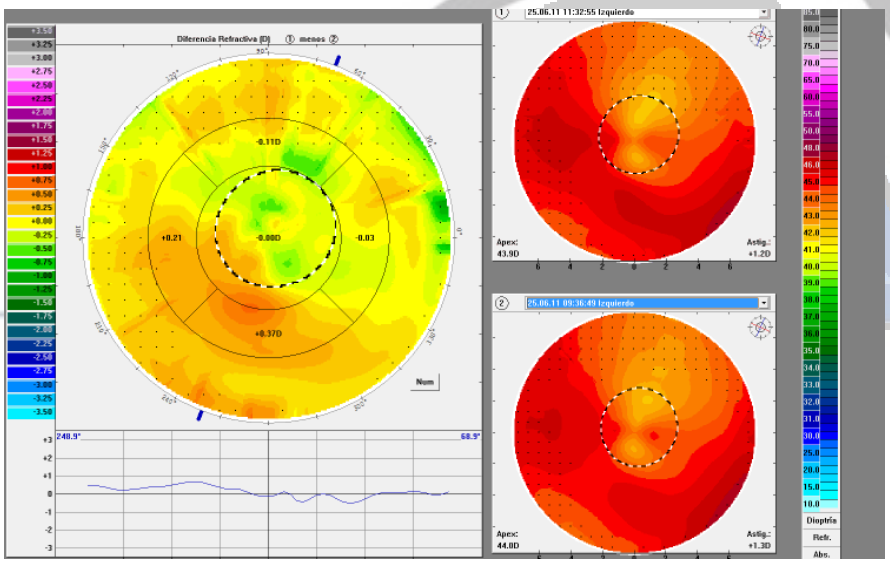
Id 30


Diferencia Refractiva (D)
menos
+0.45D
+0.42D
+0.32
+0.29
+0.36D
+0.51
+0.58
+0.45D
+0.43D
Num
175.0°
355.0°
25.06.11 11:31:37 Izquierdo
Apex: 43.1D
Astig.: -0.6D
25.06.11 09:34:13 Izquierdo
Apex: 42.8D
Astig.: -0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

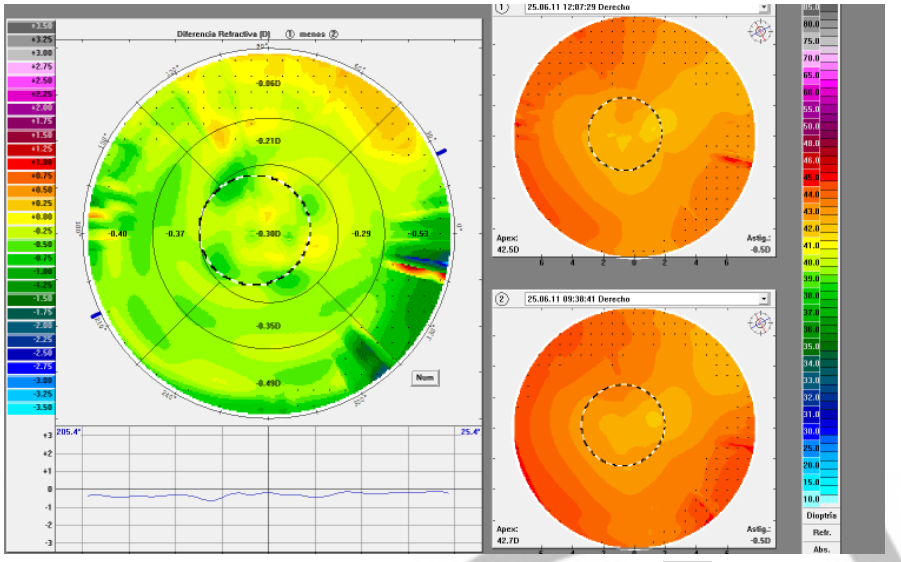
Id 31


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
+0.19
+0.27D
+0.30
+0.38D
Num
265.4°
85.4°
25.06.11 11:32:32 Derecho
Apex:
44.1D
Astig.:
+1.3D
25.06.11 09:36:23 Derecho
Apex:
43.9D
Astig.:
+1.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

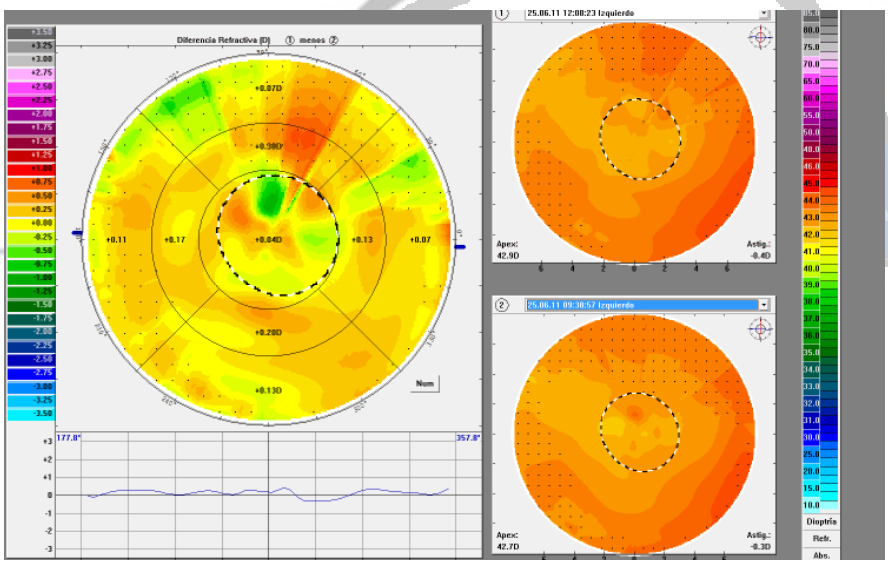
Id 32


Diferencia Refractiva [D] ① menos ②
-0.11D
+0.21
-0.08D
-0.03
+0.37D
Num
248.9°
68.9°
25.06.11 11:32:55 Izquierdo
Apex:
43.9D
Astig.:
+1.2D
25.06.11 09:36:49 Izquierdo
Apex:
44.8D
Astig.:
+1.3D
Dioptría
Refr.
Abs.

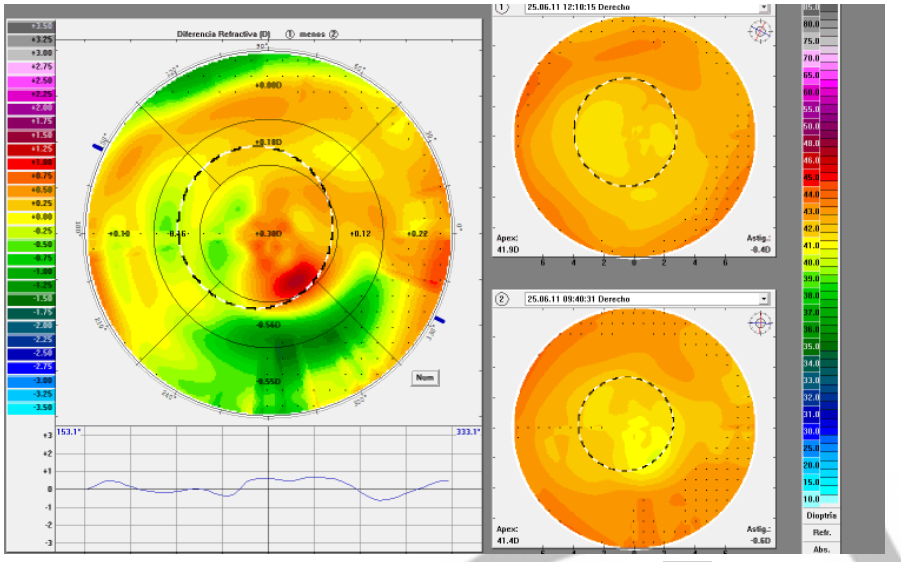
Id 33


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
25.06.11 12:07:29 Derecho
25.06.11 09:38:41 Derecho
Dioptría
Refr.
Abs.

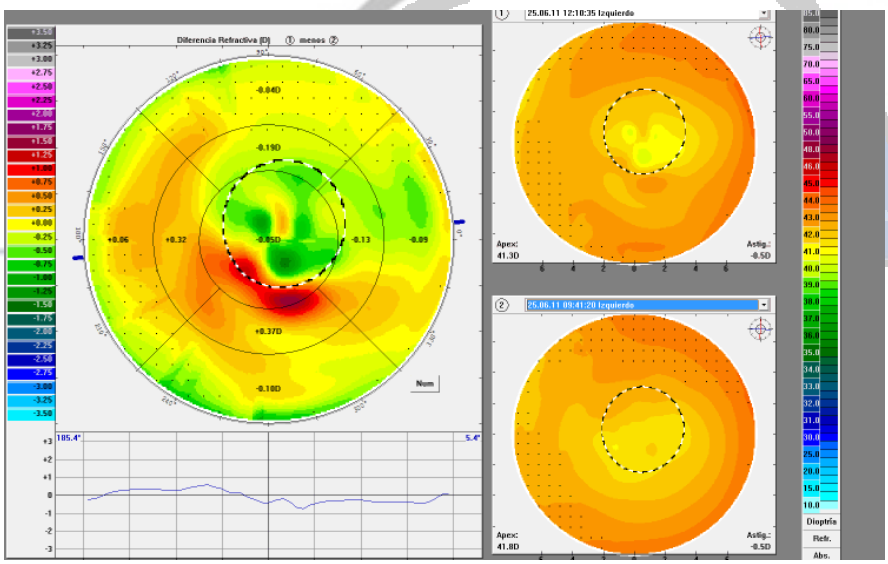
Id 34


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
25.06.11 12:08:23 Izquierdo
25.06.11 09:38:57 Izquierdo
Dioptría
Refr.
Abs.

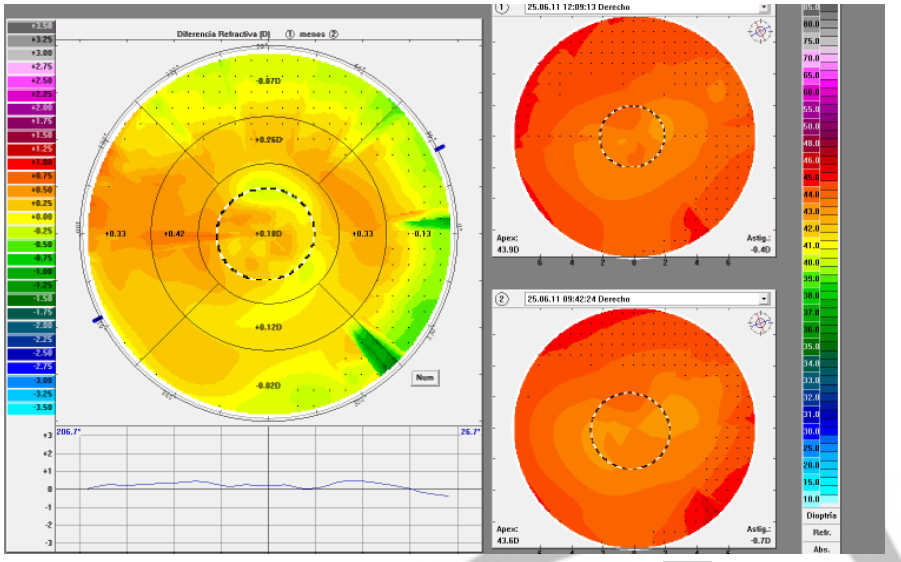
Id 35


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
25.06.11 12:10:15 Derecho
25.06.11 09:40:31 Derecho
Apex: 41.9D
Astig.: -0.4D
Apex: 41.4D
Astig.: -0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

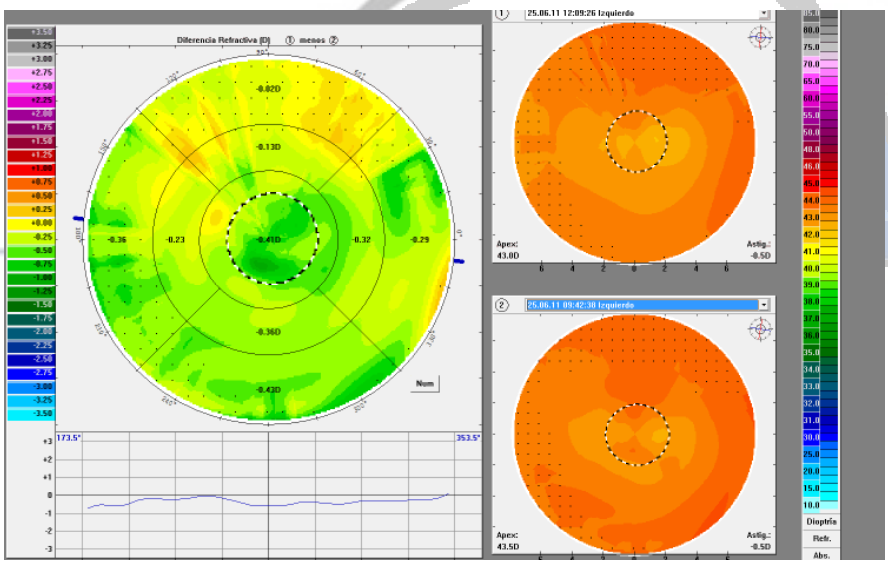
Id 36


Diferencia Refractiva (D) ① menos ②
25.06.11 12:10:35 Izquierdo
25.06.11 09:41:20 Izquierdo
Apex: 41.3D
Astig.: -0.5D
Apex: 41.8D
Astig.: -0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

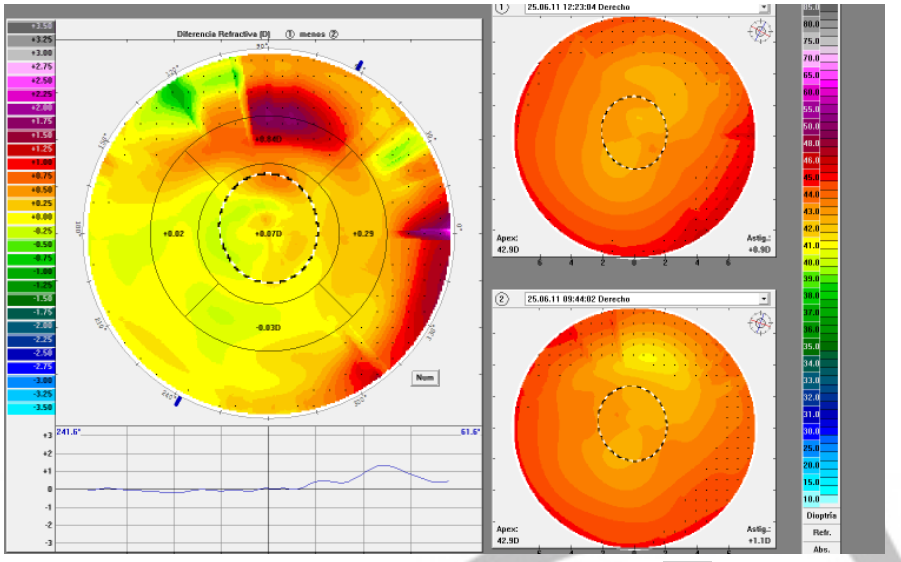
Id 37


Diferencia Refractiva (D)
25.06.11 12:09:13 Derecho
25.06.11 09:42:24 Derecho
Apex: 43.9D
Astig.: -0.4D
Apex: 43.6D
Astig.: -0.7D
Dioptría
Refr.
Abs.

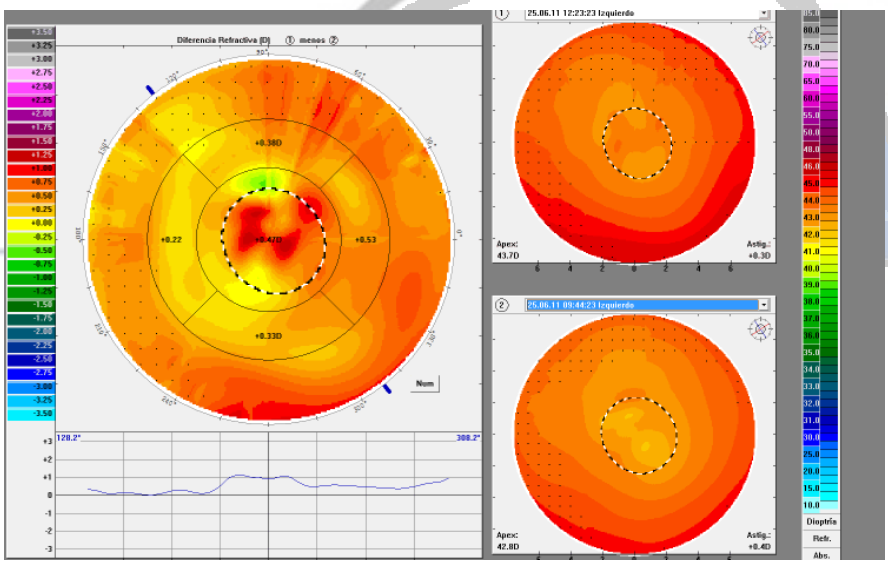
Id 38


Diferencia Refractiva (D)
25.06.11 12:09:26 Izquierdo
25.06.11 09:42:30 Izquierdo
Apex: 43.0D
Astig.: -0.5D
Apex: 43.5D
Astig.: -0.5D
Dioptría
Refr.
Abs.

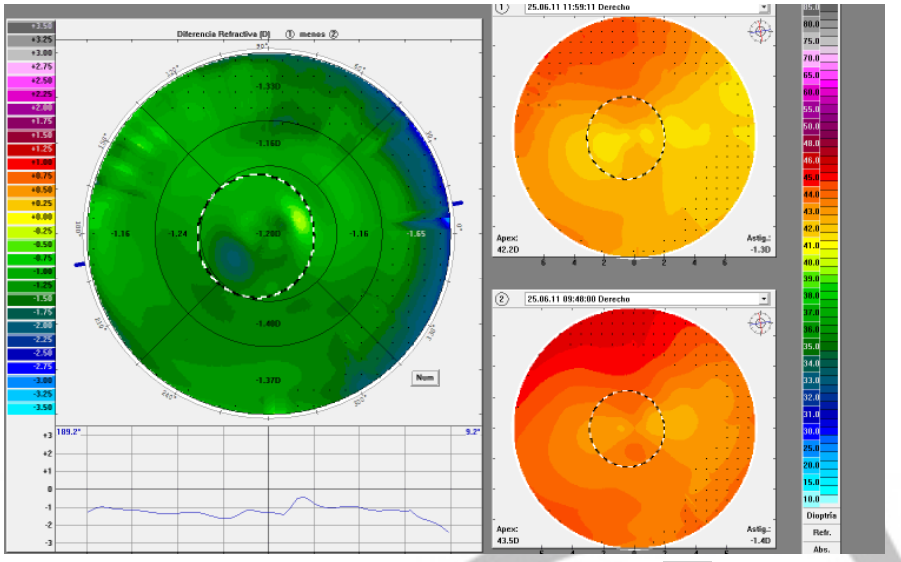
Id 39


Diferencia Refractiva (D)
① menos ②
+0.54D
+0.02
+0.07D
+0.29
-0.03D
Num
241.6°
61.6°
25.06.11 12:23:04 Derecho
Apex: 42.9D
Astig.: +0.9D
25.06.11 09:44:02 Derecho
Apex: 42.9D
Astig.: +1.1D
Dioptría
Refr.
Abs.

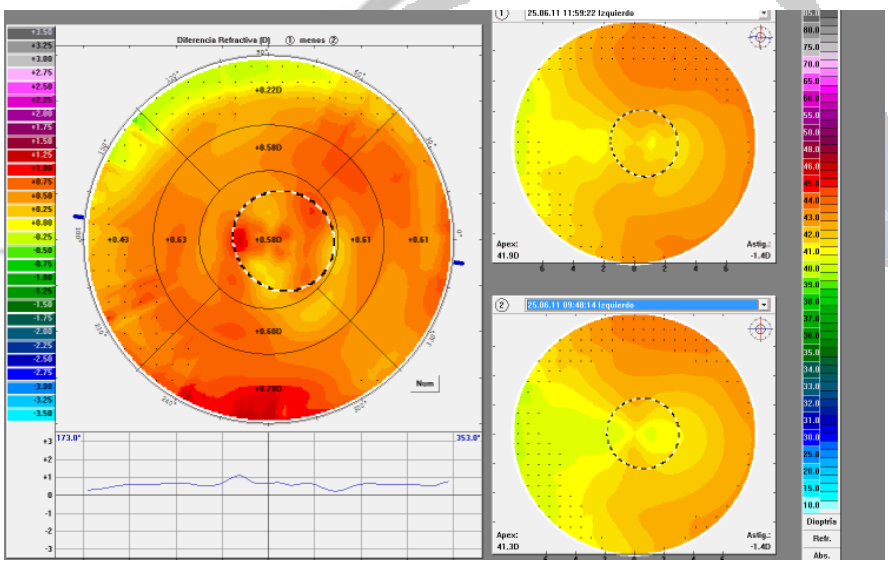
Id 40


Diferencia Refractiva (D)
① menos ②
+0.38D
+0.22
+0.47D
+0.53
+0.33D
Num
128.2°
308.2°
25.06.11 12:23:23 Izquierdo
Apex: 43.7D
Astig.: +0.3D
25.06.11 09:44:23 Izquierdo
Apex: 42.8D
Astig.: +0.4D
Dioptría
Refr.
Abs.

Id 41


Diferencia Refractiva (D)
25.06.11 11:59:11 Derecho
25.06.11 09:48:00 Derecho
Apex: 42.2D
Astig.: -1.3D
Apex: 43.5D
Astig.: -1.4D
Dioptría
Refr.
Abs.

Id 42


Diferencia Refractiva (D)
25.06.11 11:59:22 Izquierdo
25.06.11 09:48:14 Izquierdo
Apex: 41.9D
Astig.: -1.4D
Apex: 41.3D
Astig.: -1.4D
Dioptría
Refr.
Abs.

I

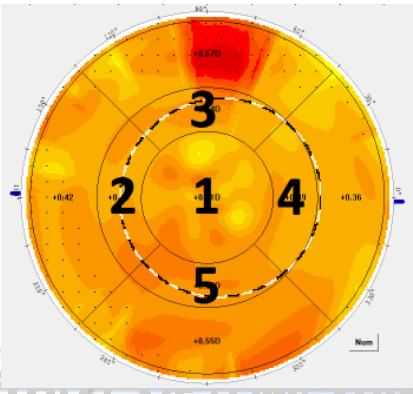
VI- DISCUSIÓN

1-Reproducibilidad del topógrafo

Análisis

Suponemos que el moldeo de la córnea es cero en estado de reposo, es decir, sin estar sometida a ningún tipo de presión.

Suponemos también la córnea dividida en cinco sectores que representados gráficamente serían



CENTRO DE OPTOMETRIA INTERNACIONAL COI

- El sector 1 son los 3 milímetros centrales
- El sector 2 va desde el tercer y quinto milímetros derecho[23] y está comprendido en un ángulo que va de 225º a 135º
- El sector 3 va desde el tercer y quinto milímetros superiores y está comprendido en un ángulo de 135º a 45º
- El sector 4 va desde el tercer y quinto milímetro izquierdo y está comprendido en un ángulo de 45º a 315º

[23] Teniendo en cuenta la posición anatómica del cuerpo

- El sector 5 va desde el tercer al quinto milímetros inferior y está comprendido en un ángulo de 315º a 225ª

Para calcular la desviación típica hemos utilizado los datos de la tabla 8. Usamos tres topografías de cuatro córneas diferentes en intervalos de tiempo muy cortos (menores de treinta segundos), a la topografía final le hemos restado la inicial en el mapa comparativo refractivo del software del topógrafo.

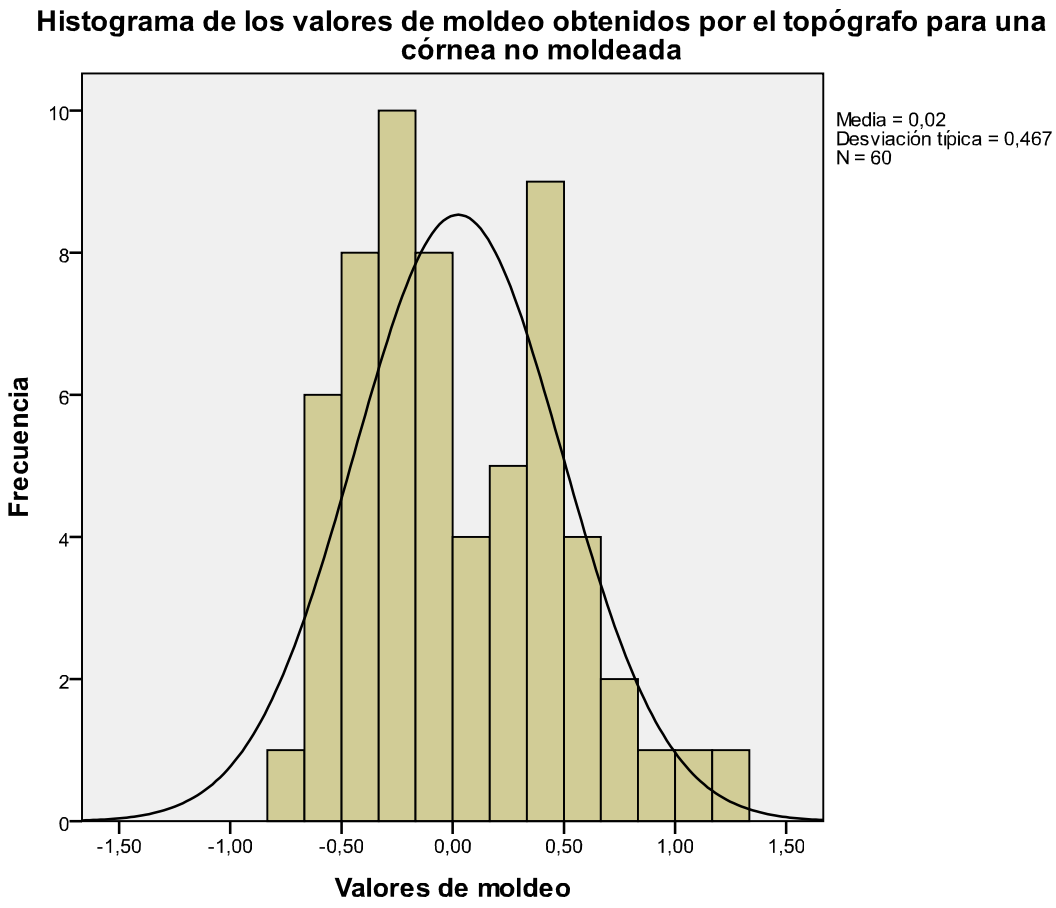
El análisis estadístico de la desviación típica para cada sector arroja los siguientes datos.

Estadísticos de los sectores corneales para el cálculo de la reproducibilidad del topógrafo

		Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector promedio
N	Válidos	12	12	12	12	12	12
Media		0,04	0,03	0,09	-0,05	0,01	0,01
Mediana		-0,09	-0,03	-0,16	-0,12	-0,05	-0,13
Moda		-,55[a]	-,61[a]	-,16	-,68[a]	-,57[a]	-,57[a]
Desv. típ.		,52	,42	,57	,48	,40	,44
Rango		1,64	1,40	1,93	1,47	1,16	1,39
Mínimo		-0,55	-0,61	-0,60	-0,68	-0,57	-0,57
Máximo		1,09	0,79	1,33	0,79	0,59	0,82

a. Existen varias modas. Se mostrará el menor de los valores.

Estadístico 1



Gráfica 1

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

Si introducimos los datos de cada sector y los consideramos como uno sólo, obtenemos el siguiente moldeo en el que vemos una desviación típica de 0.47 dp. y una media de 0.02 dp de moldeo.

Si consideramos el intervalo de confianza del 95% y teniendo en cuenta que está distribución se aproxima a la normal de Gauss, obtenemos una desviación típica de 0.92 dp.

Discusión

Al investigador le ha parecido interesante hacer un estudio empírico de la reproducibilidad[24] del topógrafo. De esta manera vamos a poder hacer una mejor interpretación de las desviaciones típicas[25] de las medidas y que va a depender de la magnitud de las mismas.

Tenemos 12 datos para cada sector y un total de 48 para los sectores 1,2,3,4 y 5, con ellos hemos calculado la desviación estándar en el sector promedio de la reproducibilidad del topógrafo, que es 0.47 dp[26]

Si trabajamos con un $p<0.05$[27] obtenemos una desviación de 0.92 dp.

Que sea una desviación típica demasiado elevada para este estudio va a depender de la magnitud que queramos medir, en este caso, el moldeo con la presión, que de momento es aún desconocido.

COI CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

[24] Indica la fiabilidad de un método de medida o de un equipo probado. Los resultados bajo condiciones idénticas deberían ser constantes

[25] Las abreviaremos como D.T. a partir de ahora

[26] Hemos tomado este dato de la leyenda del histograma.

[27] Que corresponde a un intervalo de confianza del 95%

2-Área corneal analizada

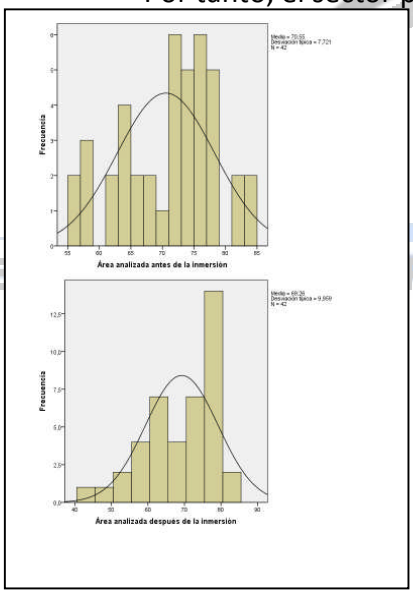
Análisis

Teniendo en cuenta que la superficie de un círculo es π multiplicado por el radio al cuadrado y sabiendo que el sector 1 mide 3 mm, vemos que representa el 28.27% de la córnea.

Teniendo en cuenta que el radio de los cinco sectores es 5 mm y aplicando la misma fórmula, obtenemos una superficie de 78.54%.

Si a eso le restamos la superficie ocular del sector 1, que es 28.27% y el resultamos lo dividimos entre cuatro, obtendremos que los sectores 2, 3, 4 y 5 tienen un 12.57 % de superficie corneal total cada uno.

Por tanto, el sector promedio, necesita un área analizada del 65.98 % [28]



Gráfica 2 - Histograma del área corneal analizada antes y despues de la inmersion

En el histograma vemos que para n=42 la media de área corneal analizada es 70.55 % (D.T 15.13%[29] para p<0.05) en la topografía antes de la inmersión y 69.26% (D.T 19.52% para p<0.05) en la topografía después de la inmersión)

Como habíamos visto, para que la superficie corneal analizada cubra el sector promedio[30] necesitamos un área analizada del 65.98%.

[28] Recordemos que excluimos el sector 3

[29] Resultado obtenido de multiplicar 1.96 por la desviación típica que aparece en el histograma

[30] Dato que utilizaremos para el cálculo de moldeo

Ese porcentaje o superior lo cumple el 69% de las topografías antes de la inmersión y el 59.5% de después de la inmersión. Si vamos a la tabla 2, y

vamos caso por caso vemos que 24 ojos cumplen la condición de que ambos valores sean superiores o iguales a 65.98%, es decir el 57.14% de los ojos.

Frecuencias de la superficie corneal analizada antes de la inmersión

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
56,00	2	4,3	4,8	4,8
57,00	2	4,3	4,8	9,5
58,00	1	2,2	2,4	11,9
61,00	1	2,2	2,4	14,3
62,00	1	2,2	2,4	16,7
63,00	3	6,5	7,1	23,8
64,00	1	2,2	2,4	26,2
65,00	1	2,2	2,4	28,6
66,00	1	2,2	2,4	31,0
67,00	1	2,2	2,4	33,3
68,00	1	2,2	2,4	35,7
69,00	1	2,2	2,4	38,1
71,00	3	6,5	7,1	45,2
72,00	3	6,5	7,1	52,4
73,00	3	6,5	7,1	59,5
74,00	2	4,3	4,8	64,3
75,00	3	6,5	7,1	71,4
76,00	3	6,5	7,1	78,6
77,00	2	4,3	4,8	83,3
78,00	3	6,5	7,1	90,5
82,00	2	4,3	4,8	95,2
83,00	1	2,2	2,4	97,6
84,00	1	2,2	2,4	100,0
Total	42	91,3	100,0	
Total	46	100,0		

Análisis de frecuencias 1 – Análisis de frecuencias de la superficie corneal analizada antes de la inmersión

Frecuencias de la superficie corneal analizada después de la inmersión

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
	43,00	1	2,2	2,4	2,4
	48,00	1	2,2	2,4	4,8
	53,00	1	2,2	2,4	7,1
	55,00	1	2,2	2,4	9,5
	56,00	2	4,3	4,8	14,3
	60,00	2	4,3	4,8	19,0
	61,00	1	2,2	2,4	21,4
	62,00	2	4,3	4,8	26,2
	63,00	3	6,5	7,1	33,3
	65,00	1	2,2	2,4	35,7
	66,00	2	4,3	4,8	40,5
	67,00	1	2,2	2,4	42,9
	69,00	1	2,2	2,4	45,2
	71,00	2	4,3	4,8	50,0
	73,00	2	4,3	4,8	54,8
	74,00	1	2,2	2,4	57,1
	75,00	2	4,3	4,8	61,9
	76,00	3	6,5	7,1	69,0
	77,00	2	4,3	4,8	73,8
	78,00	2	4,3	4,8	78,6
	79,00	2	4,3	4,8	83,3
	80,00	5	10,9	11,9	95,2
	81,00	1	2,2	2,4	97,6
	82,00	1	2,2	2,4	100,0
	Total	42	91,3	100,0	
Total		46	100,0		

Análisis de frecuencias 2 - Análisis de frecuencias de la superficie corneal analizada después de la inmersión

Discusión

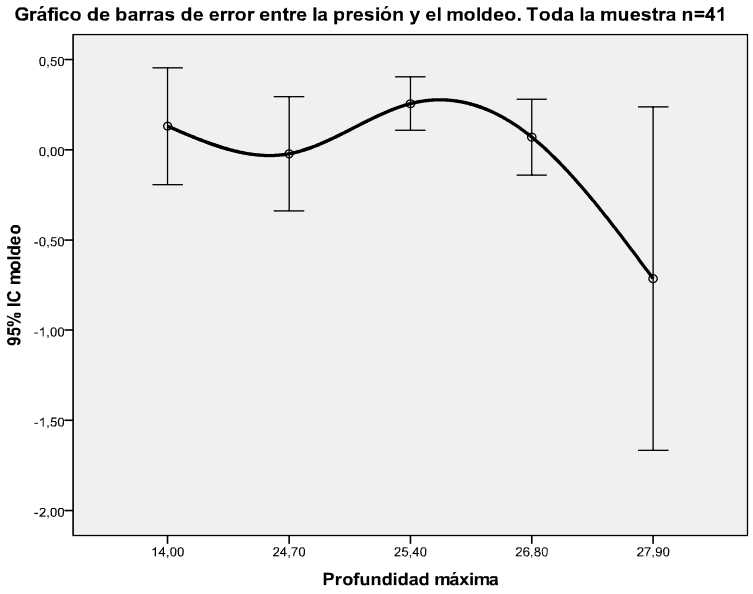
El investigador cree que las limitaciones en el área analizada suponen otro sesgo que, aunque de menor importancia, hay que añadir al de la reproducibilidad del topógrafo y que nos van a hacer trabajar con datos poco fiables para un intervalo de confianza del 95%.

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

3-Análisis de la existencia de moldeo corneal con la presión

Análisis de toda la muestra

Vamos a representación con barras de error para un intervalo del 95%, obtenemos la siguiente gráfica.

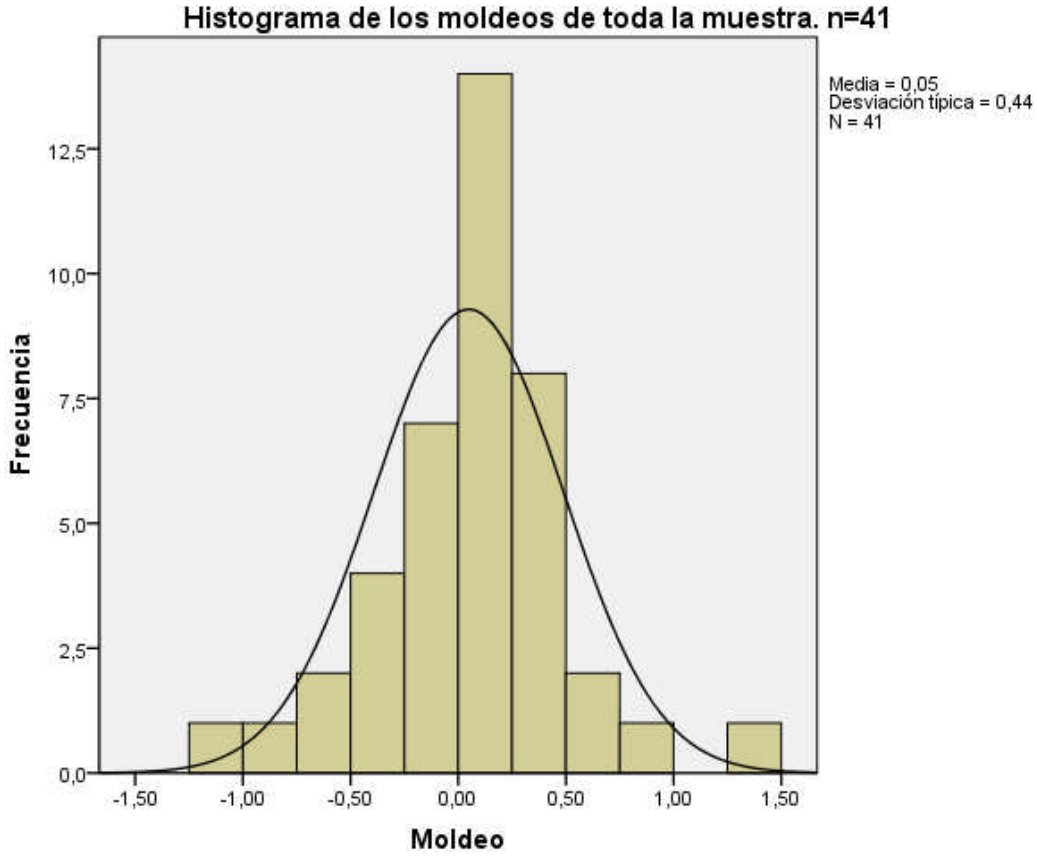


Gráfica 3

Ahora utilizamos todos los valores de los moldeos de la tabla 7 obtenemos la siguiente tabla de correlaciones y estadísticos.

Estadísticos del moldeo. Todo la muestra	
N	41 ojos
Media	0,05 dp
Mediana	0,08 dp
Desv. típ.	0,44 dp
Rango	2,54 dp
Mínimo	-1,23 dp
Máximo	1,30 dp

Estadístico 2



Gráfica 4

Correlación entre la profundidad máxima y el moldeo. Toda la muestra			
			Moldeo
Rho de Spearman	Profundidad máxima	Coeficiente de correlación	-0,106
		Sig. (bilateral)	0,509
		N	41 ojos

Análisis de correlación 1

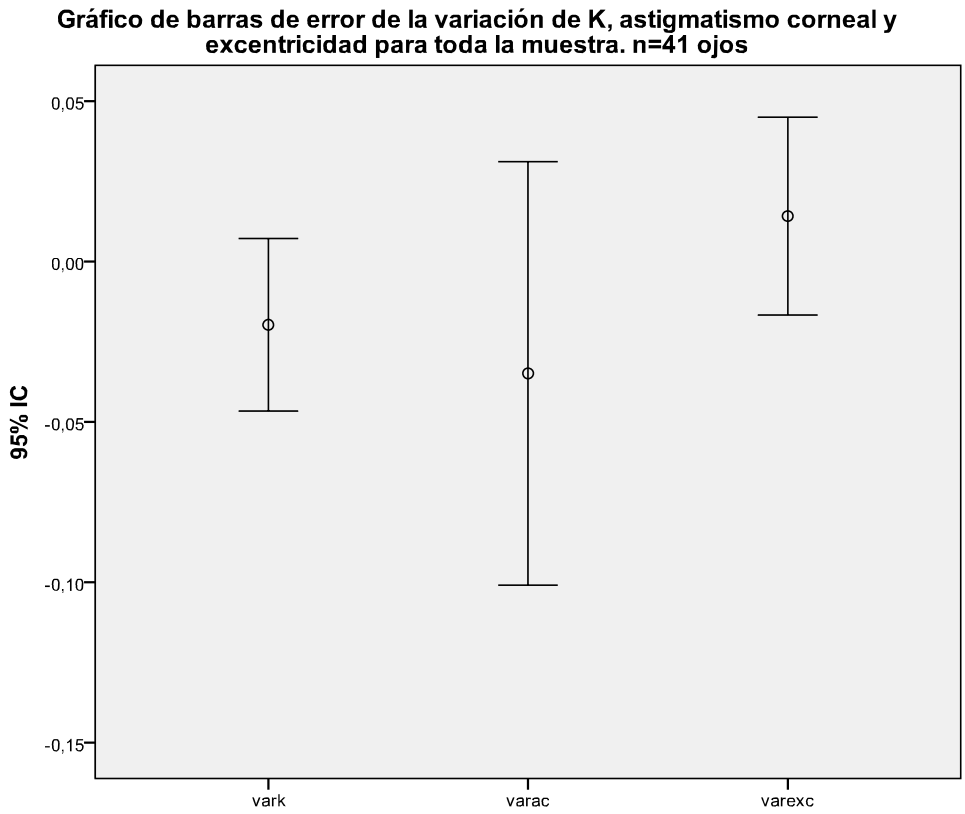
Estadísticos de la variación de K		
N	Válidos	41 ojos
	Media	-0,02 mm
	Mediana	-0,02 mm
	Desv. típ.	0,08 mm
	Rango	0,48 mm
	Mínimo	-0,28 mm
	Máximo	0,20 mm

Estadísticos de la variación del astigmatismo corneal		
N	Válidos	41 ojos
	Media	-0,03 dp
	Mediana	0,00 dp
	Desv. típ.	0,21 dp
	Rango	1,30 dp
	Mínimo	-0,60 dp
	Máximo	0,50 dp

Estadísticos de la variación de la excentricidad		
N	Válidos	41 ojos
	Media	-0,01
	Mediana	-0,01
	Desv. típ.	0,10
	Rango	0,54
	Mínimo	-0,25
	Máximo	0,29

Estadístico 3 – Variación de K, astigmatismo corneal y excentricidad.

Explicación de los valores de K, astigmatismo corneal, y excentricidad	
Valores negativos de moldeo	-La córnea tiene menos poder refractivo -La córnea se hace más hipermétrope -La córnea se hace menos miope
Valores positivos de la variación de K	-K aumenta después de la inmersión - La córnea se aplana (4 mm. centrales) -El ojo se vuelve más hipermétrope -El ojo se vuelve menos miope
Valores negativos de la variación de astigmatismo corneal	El astigmatismo se reduce después de la inmersión La córnea se aplana en su meridiano más curvo. Los dos meridianos corneales tienen radios más parecidos
Valores negativos de la variación de excentricidad	Disminuye la excentricidad corneal La córnea se hace menos prolata La córnea se hace más oblata La diferencia entre la curvatura corneal central y periférica disminuye (si no baja de cero) La diferencia entre la curvatura corneal central y periférica aumenta (si baja de cero)



Gráfica 5

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Correlaciones de la variación de K, astigmatismo corneal y excentricidad con la profundidad. Toda la muestra n=41

		Variación del K	Variación del ast. corneal	Variación de la excentricidad
Profundidad máxima	Coeficiente de correlación	0,06	-0,169	-0,08
	Sig. (bilateral)	0,726	0,292	0,633

Análisis de correlación 2

Discusión del análisis para toda la muestra

En el estadístico 2 (moldeo para toda la muestra, n=41) vemos una moldeo medio prácticamente cero (-0.05 dp). La desviación típica es 0.86 dp. para un intervalo de confianza[31] del 95%.

Si calculamos el coeficiente de variación[32] obtenemos 1785%. Por tanto, la variable que queremos medir es mucho más pequeña que la precisión que obtenemos y confirmamos que la reproducibilidad del topógrafo va a introducir mucha dispersión en el análisis de datos.

En el análisis de correlación 1 (entre el moldeo y la profundidad para toda la muestra. N=41) vemos un -0.106 (el ojo se vuelve más hipermétrope), un ajuste inadecuado con un p de 0.509 que no es estadísticamente significativa para el intervalo de confianza que queremos utilizar.

Si tenemos en cuenta toda la muestra (n=41) y a la vista del análisis de los datos obtenidos, no podemos ni afirmar ni desmentir que exista moldeo y en todo caso, para un intervalo de confianza del 95 %, tendrá un valor que oscilará entre 0.91 dp y –0.81 dp.

Si para el análisis en vez del moldeo obtenido en el mapa comparativo refractivo del topógrafo, utilizáramos los datos de la tabla de estadísticos 3 (variación de K, astigmatismo corneal y excentricidad.), nos encontramos con algo parecido.

[31] A partir de ahora lo resumiremos como IC

[32] A partir de ahora lo resumiremos como CV

La media de la variación del K corneal es -0.02 mm. (equivalente a un aplanamiento corneal) con una desviación típica de 0.17 mm y un coeficiente de variación de 843% para un IC del 95%.

Datos similares obtenemos para la variación de astigmatismo corneal y excentricidad.

Media de variación de astigmatismo corneal -0.03 dp (el astigmatismo se reduce) con una desviación típica de 0.41 dp para un IC del 95% y un CV de 1175%.

Media de la variación de la excentricidad -0.01 (disminuye la excentricidad) con una desviación típica de 0.20 para un IC del 95% y un CV de 692%.

Por tanto, para hacer un análisis que nos lleve a algo necesitamos agrupar los datos de una forma más homogénea.

COI
CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

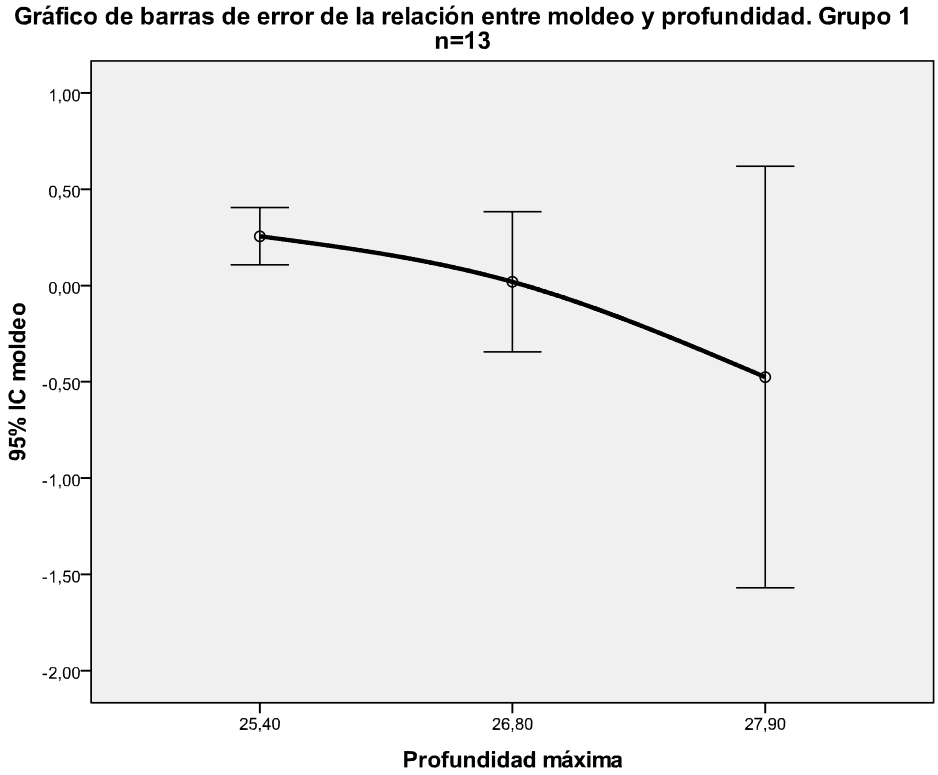
Análisis del grupo 1

Grupo 1

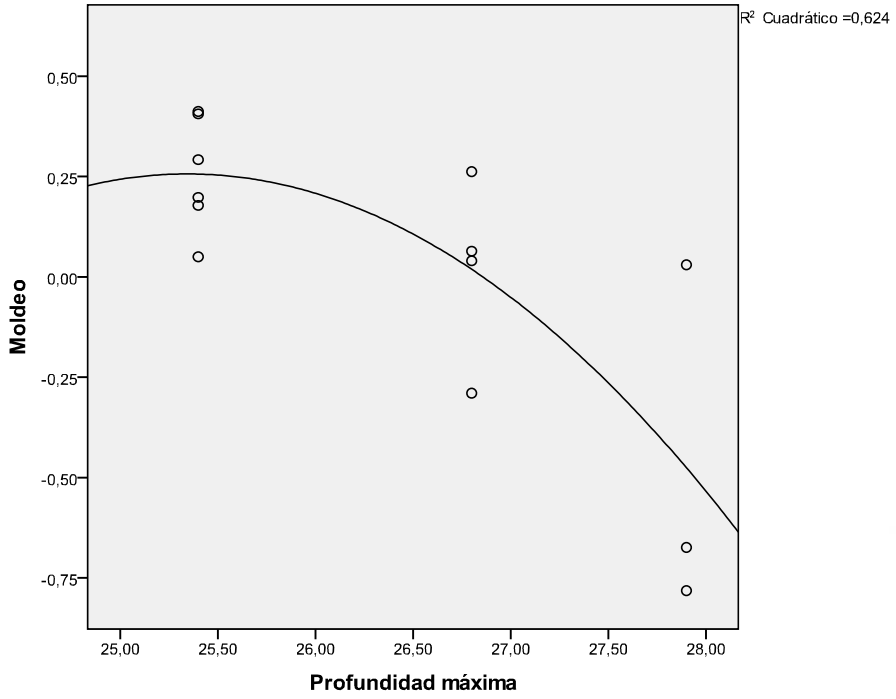
Tiempo transcurrido: inferior a una hora

Profundidad máxima alcanzada: entre 25,00 y 27.90 metros

Tamaño de la muestra: 13 ojos



Gráfica 6 – Barras de error de la relación entre moldeo y profundidad. Grupo 1. n=13 ojos



Gráfica 7 – Dispersión del moldeo con la profundidad. Grupo 1. n=13 ojos

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Estadísticos del moldeo desglosado por profundidades. Grupo 1			
Profundidad	25.40 m	26.80 m	27.90 m
N	6	4	3
Media	0.26 dp	,02 dp	-0,48 dp
Mediana	,24 dp	,05 dp	-0,67 dp
Desv. típ.	0.14 dp	0,23 dp	0,44 dp
Rango	0,36 dp	0,55 dp	0,81 dp
Mínimo	0.05 dp	-0,29 dp	-0,78 dp
Máximo	0.41 dp	0,26 dp	0,03 dp

Estadísticos del moldeo. Grupo 1. n=13	
Media	0,01 dp
Mediana	0,06 dp
Desv. típ.	0,38 dp
Rango	1,19 dp
Mínimo	-0,78 dp
Máximo	0,41 dp

Estadístico 5

Correlación entre el moldeo y la profundidad. Grupo 1 n=13		Profundidad
Moldeo	Coeficiente de correlación	-,791**
	Sig. (bilateral)	,001

Análisis de correlación 3

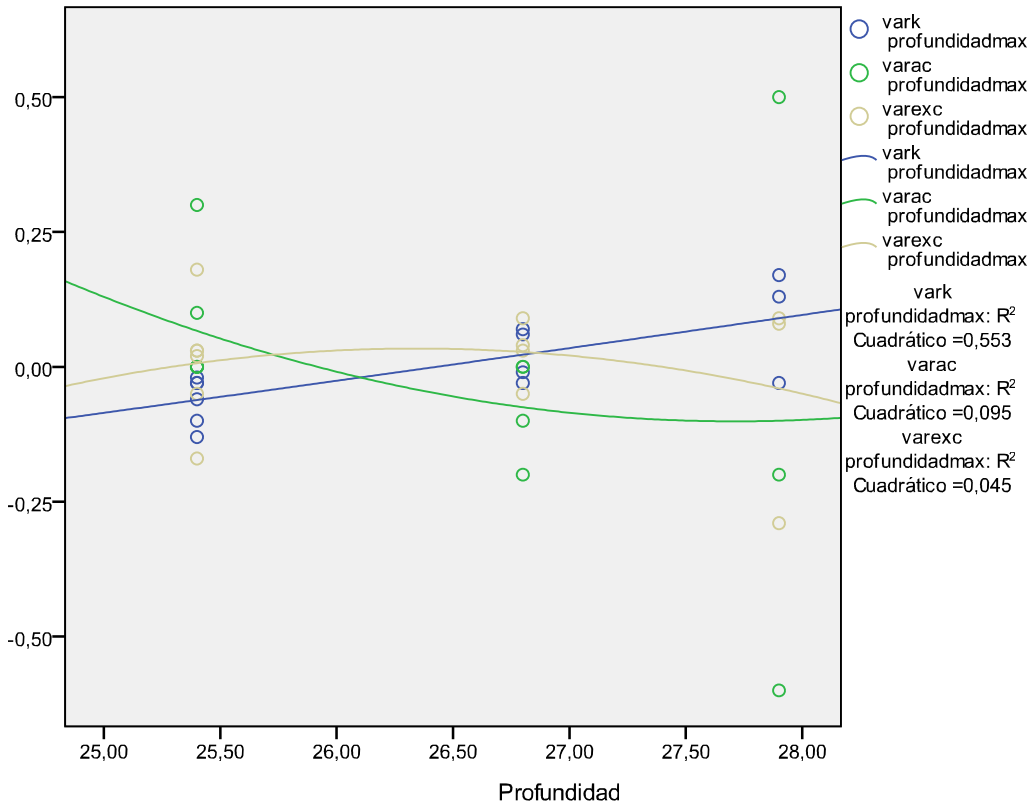
Estadísticos de la variación de K, ast. corneal y excentricidad. Grupo 1. n=13			
Profundidad	Variación de k	Variación del astigmatismo corneal	Variación de la excentricidad
n	13	13	13
Media	0,00 mm	-0,08 dp	0,00
Mediana	-0,03 mm	0,00 dp	0,03
Desv. típ.	0,09 mm	0,24 dp	0,12
Rango	0,30 mm	1,10 dp	0,47
Mínimo	-0,13 mm	-0,60 dp	-0,18
Máximo	0,17 mm	0,50 dp	0,29

Estadístico 6

Correlación entre la profundidad máxima y la variación de K, ast. corneal y excentricidad			Variación de K	Variación del ast. corneal	Variación de la excentricidad
Rho de Spearman	Profundidad	Coeficiente de correlación	0,655*	-0,180	-0,164
		Sig. (bilateral)	0,015	0,556	0,592
		n	13	13	13

Análisis de correlación 4

Diagrama de dispersión entre el incremento de K, astigmatismo corneal y excentricidad con la profundidad. Grupo 1 n=13



CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Discusión del análisis del grupo 1

Vamos a hacer una selección de la muestra con los valores más uniformes posibles de profundidad y tiempo desde la salida del agua.

Ahora las profundidades máximas oscilan entre 25.40 y 27.90 metros, por tanto la variación es sólo 8.96 % y los valores son mucho más homogéneos. Los rangos de moldeo oscilan entre -0.78dp y 0.41 dp.

Obtenemos una media de moldeo de 0.01 dp (DT 0.74 IC95%). Si desglosamos esa media para las 3 profundidades estudiadas tenemos +0.26 dp para 25.40 m (DT 0.28 dp IC95% CV 108%) +0.02 dp. para 26.80 m (DT 0.45 dp IC95% DT 2250%) y -0.47 dp (DT 0.86 dp IC95% DT 183%). Valores de nuevo muy elevados.

Por tanto, para un IC del 95% el moldeo oscilará entre +0.75 dp. y -0.72 dp.

Si observamos la gráfica 6 (barras de error de la relación entre moldeo y profundidad. Grupo 1. n=13) vemos que el moldeo se hace cada vez más negativo, a medida que los errores de dispersión van aumentando.

El análisis de correlación Rho de Spearman entre el moldeo y la profundidad muestra un buen ajuste (-0.791)[33] con una p=0.001 y la correlación entre la profundidad y la variación de K también es buena (0.655)[34] con p=0.015. Por tanto, tenemos dos correlaciones estadísticamente significativas sobre dos parámetros diferentes, que nos hacen llegar a la

[33] el valor negativo indica que la córnea tiene menos potencia con mayor profundidad, esto es, se aplana.

[34] el valor positivo indica que el K corneal se incrementa con la profundidad, o lo que es lo mismo, la córnea se aplana.

misma conclusión, que la córnea se aplana cuanto mayor es la presión a la que se la somete en toda su superficie. Sin embargo no podemos cuantificarlo con precisión.

Así pues, en las condiciones del grupo 1, podemos aceptar la hipótesis de partida.

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

4-Análisis y discusión de la disminución del moldeo corneal con el tiempo[35]

Análisis

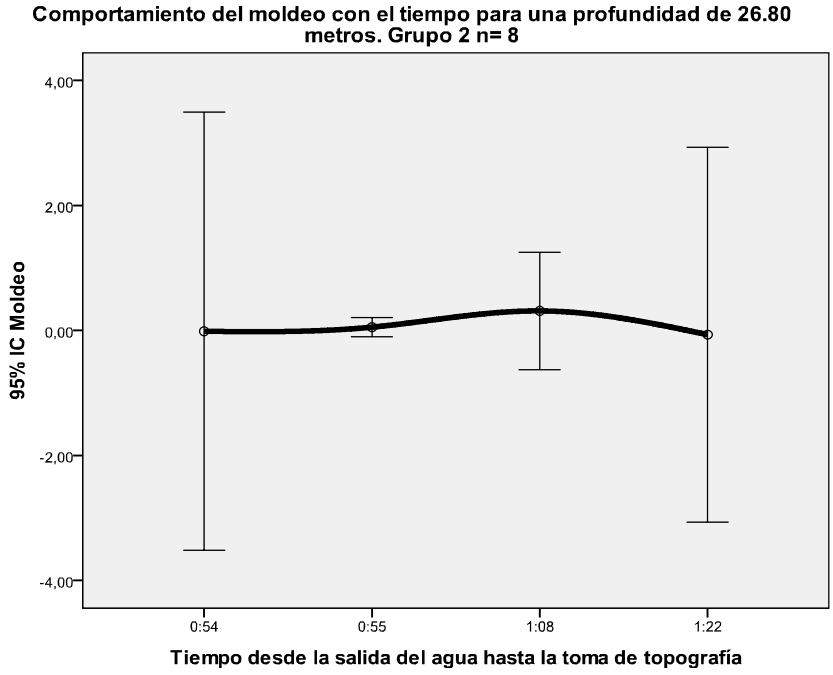
Vamos a definir un nuevo grupo de buceadores en el que dejemos constante la profundidad y varíe sólo el tiempo. En los análisis de correlaciones utilizaremos Rho Spearman porqué la muestra es pequeña

Grupo 2

Tiempo transcurrido: entre 54 y 82 minutos

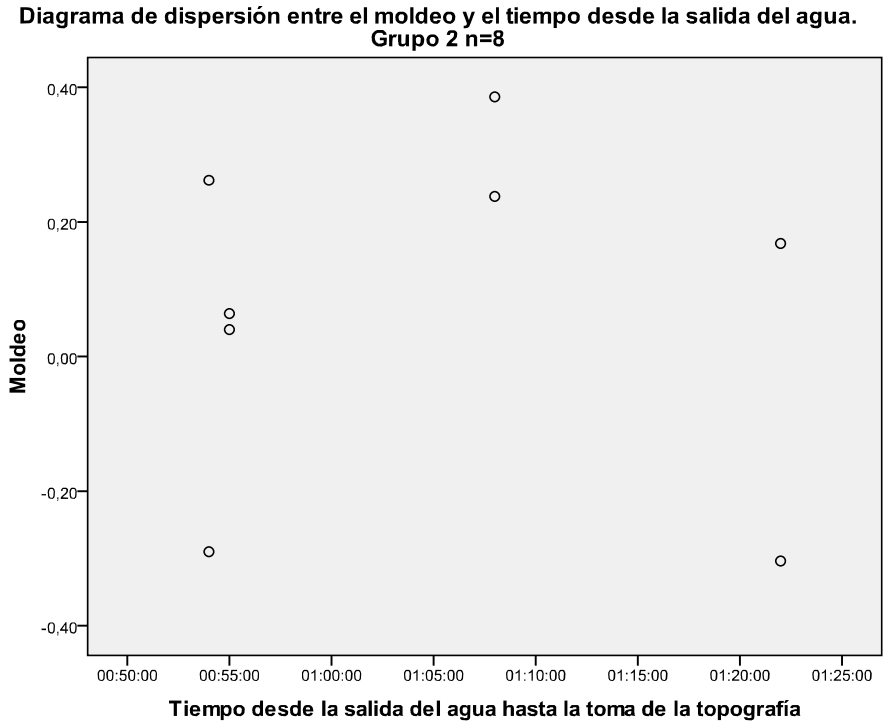
Profundidad máxima alcanzada: 26.80 metros

Tamaño de la muestra: 8 ojos



Gráfica 8 – Comportamiento del moldeo con el tiempo. Grupo 2 n=8

[35] Se refiere al tiempo que pasa desde que el buceador sale del agua hasta que se le realiza la topografía



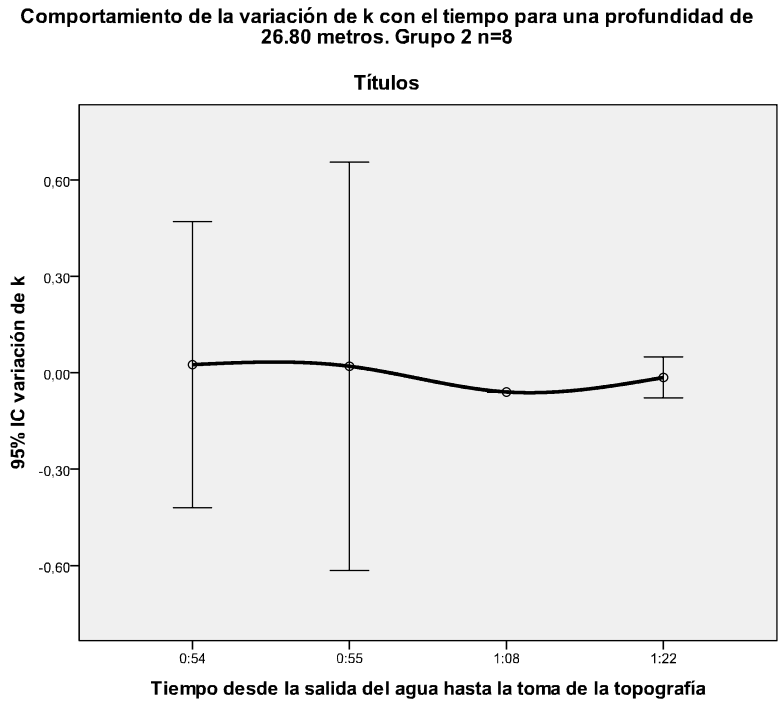
Gráfica 9 – Dispersión entre el moldeo y el tiempo transcurrido desde la salida del agua. Grupo 2 n=8

Estadísticos del moldeo a 26.80 metros para un tiempo comprendido entre 54 y 82 minutos. Grupo 2 n=8	
Media	,070 dp
Desv. típ.	0,25 dp
Rango	0,69 dp
Mínimo	-0,30 dp
Máximo	0,39 dp

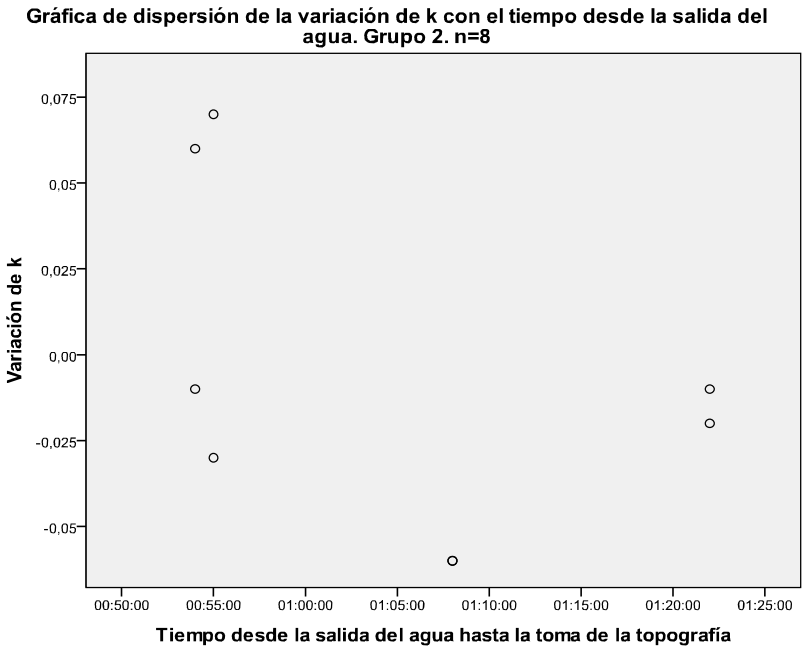
Estadístico 7

Correlación entre el moldeo y el tiempo desde la salida del agua. Grupo 2 n=8		Tiempo desde la salida del agua
Moldeo	Coeficiente de correlación	-0,049
	Sig. (bilateral)	0,909

Análisis de correlación 5



Gráfica 10



Gráfica 11

Estadísticos de la variación de K, astigmatismo corneal y excentricidad. Grupo 2. n=8			
	Variación de K	Variación del astigmatismo corneal	Variación de la excentricidad
Media	-0,01 mm	-0,07 dp	-0,04
Mediana	-0,01 mm	-0,05 dp	-0,03
Desv. típ.	0,05 mm	0,13 dp	0,07
Rango	0,13 mm	0,40 dp	0,25
Mínimo	-0,06 mm	-0,30 dp	-0,20
Máximo	0,07 mm	0,10 dp	0,05

Estadístico 8 - variación de K, astigmatismo corneal y excentricidad. Grupo 2. n=8

Correlación entre el tiempo desde la salida del agua con la variación de K, astigmatismo corneal y excentricidad. Grupo 2. N=8					
			Variación de k	Variación del ast. corneal	Variación de la excentricidad
Rho de Spearman	Tiempo desde la salida del agua	Coeficiente de correlación	-0,420	0,300	-0,049
		Sig. (bilateral)	0,300	0,470	0,909

Análisis de correlación 6 - el tiempo desde la salida del agua con la variación de K, astigmatismo corneal y excentricidad. Grupo 2. N=8

Si ahora vamos al estadístico 8 tenemos que la media de la variación de K es -0.01 mm., muy próxima a cero (DT 0.10 mm IC95% CV 980%) con rangos que oscilarán entre -0.11 mm y 0.09 mm. La media de variación del astigmatismo corneal es -0.07 dp (DT 0.25 dp IC95% CV 357%) con rangos entre -0.32 dp y 0.18 dp. La media de variación de la excentricidad es 0.04 (DT 0.15 IC95% CV 335%) y con rangos entre -0.11 y 0.19.

Discusión

En esta ocasión hemos hecho una elección de muestra de forma que no haya oscilación de la profundidad que es una constante de 26.80 metros para toda la muestra n=8 (19% de la muestra).

Tanto en la gráfica de barras de error 8 como la 10 muestran una la línea que une las medias cuyo valor es prácticamente cero. Si observamos las gráficas de dispersión 9 y 11 vemos que los datos no tienen ningún orden aparente.

Si nos fijamos en el estadístico de moldeo 7 vemos que la media es 0.07 dp (DT 0.49dp para IC95%). Esto es, el moldeo oscilará entre 0.56 dp y -0.42 dp (IC95%)

La correlación entre 5 entre el moldeo y el tiempo es -0.049 con un p de 0.909. Es por tanto un ajuste negativo inadecuado que además no es estadísticamente significativo.

Si ahora vamos al estadístico 8 tenemos que la media de la variación de K es -0.01 mm., muy próxima a cero (DT 0.10 mm IC95% CV 980%) con rangos que oscilarán entre -0.11 mm y 0.09 mm. La media de variación del astigmatismo corneal es -0.07 dp (DT 0.25 dp IC95% CV 357%) con rangos entre -0.32 dp y 0.18 dp. La media de variación de la excentricidad es 0.04 (DT 0.15 IC95% CV 335%) y con rangos entre -0.11 y 0.19.

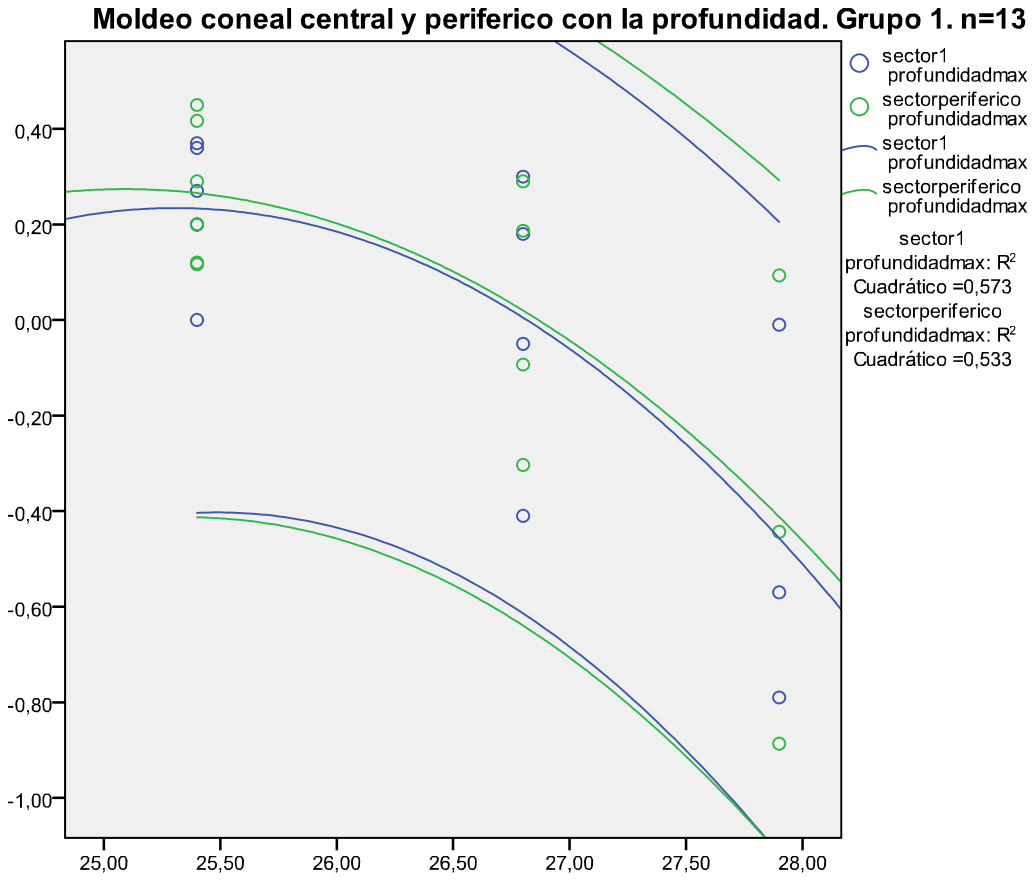
Por tanto, en cuanto a la desaparición del moldeo con el tiempo no podemos sacar ninguna conclusión estadísticamente significativa puesto que las correlaciones son inadecuadas o con p´s muy altos y los rangos de moldeo, variación de K, astigmatismo corneal y excentricidad son muy grandes para una IC 95%.

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

5-Análisis de la relación entre moldeo corneal central y periférico[36]

Análisis

Para este análisis utilizaremos también el grupo 1.



Gráfica 12 – Moldeo corneal central y periférico con la profundidad. Grupo 1 n=13

[36] Obtenemos el sector periférico como promedio del sector 2, 4 y 5

Correlación entre la profundidad máxima y el moldeo central y periférico. Grupo 1 n=13					
			sector1	sectorperiferico	profundidadmax
Rho de Spearman	Profundidad	Coeficiente de correlación	-,742**	-,727**	1,000
		Sig. (bilateral)	,004	,005	.

**. La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Análisis de correlación 7

Estadísticos del sector 1, periférico y promedio. Grupo 1 n=13				
		Sector 1	Sector periférico	Moldeo
N	Válidos	13	13	13
	Perdidos	0	0	0
Media		0,00 dp	0,03 dp	0,01 dp
Mediana		0,18 dp	0,12 dp	0,06 dp
Desv. típ.		0,37 dp	0,38 dp	0,38 dp
Rango		1,16 dp	1,34 dp	1,19 dp

Estadístico 9 - Estadísticos del sector 1, periférico y promedio. Grupo 1

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

Discusión

Ya en el análisis 3 dedujimos la existencia de moldeo con la presión. Es por tanto razonable pensar que el moldeo central y periférico también aumenten con la presión por ser un desglose del sector promedio (al que llamamos *moldeo*).

En el diagrama de dispersión vemos que las líneas de ajuste muestran mayor moldeo en el sector central que en el periférico aunque si observamos las líneas de error para un intervalo de confianza al 95% vemos que están muy alejadas y por tanto no podemos calcula la cantidad exacta.[37]

En el análisis de correlación 7 tenemos valores negativos con una correlación buena -0.742 y -0.727 (p de 0.04 y 0.05) para el sector central y promedio respectivamente, se evidencia por tanto un aumento del moldeo con la profundidad de mayor cuantía en el sector central

El análisis estadístico 9 no arroja mucha luz, DT y CV (coeficiente de variación) muy altos y con moldeos en ambos casos muy próximos a cero.

Podemos por tanto afirmar, basándonos en las gráficas y análisis de correlaciones que el moldeo central es mayor que el periférico, aunque con escasa diferencia.

[37] Ya habíamos visto en la temática de aproximación cuando hablamos del espesor corneal que había estudios que afirmaban que la deformación será menor cuanto mayor sea la distancia entre ambas superficie, es decir, en la periferia.

VII-CONCLUSIONES

- Podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que **la córnea se aplana con la profundidad.**

-La magnitud de este aplanamiento en buceo recreativo es pequeña y de rápida recuperación y por tanto los submarinistas pueden estar tranquilos.

-En cuanto a las consecuencias para usuarios de lentes de contacto hacemos las siguientes recomendaciones:

- Los usuarios de lentes de contacto semirrígidas gas permeable deberían solicitar a su profesional de la visión que les abrá el radio base ligeramente por encima del habitual si van a utilizar esas lentes de contacto para bucear, de esa forma podemos evitar el riesgo de padecer un edema corneal como consecuencia de la formación de burbujas.

COI CENTRO DE OPTOMETRIA INTERNACIONAL

-Los usuarios de lentes de lentes de contacto hidrofílicas no necesitanhacer ningún ajuste porque éstasse adaptarán a la forma del ojodurante la inmersión.

- Finalmente resumimos las sensaciones visuales que puede tener el submarinista
en la siguiente tabla, en base a la profundidad y a su estado refractivo en superficie,
no sin antes aclarar que hay más factores que pueden influir, como la edad, algunas
enfermedades metabólicas, amplitud acomodativa …

Estado refractivo en superficie	Sensación en superficie	Sensación buceando
Emétrope	Ven bien a todas las distancias	Sin síntomas
Emetrope próximo a la presbicia	Ven bien a todas las distancias	Puede llegar a ver mal de cerca
Hipermétrope y presbitas	A grandes rasgos ven mal de cerca y bien de lejos	Pueden llegar a ver mal de cerca
Miopes	A grandes rasgos, ven mal de lejos y bien de cerca	Pueden llegar a notar una mejoría en lejos

COI
CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL

VIII-BIBLIOGRAFÍA

1. 350px-Parcie_hydrostatyczne_szkic.svg.png (PNG Imagen, 350x263 pixels) - Escalado (0%), Junio 6, 2011, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bf/Parcie_hydrostatyczne_szkic.svg/350px-Parcie_hydrostatyczne_szkic.svg.png.

2. «A Viscoelastic Biomechanical Model of the Cornea Describing the Effect of Viscosity and Elasticity on Hysteresis», Mayo 23, 2011, http://www.iovs.org/content/49/9/3919.full.

3. «Ar_1_8_44_APR_18.pdf», http://www.sepeap.org/archivos/libros/OFTALMOLOGIA/Ar_1_8_44_APR_18.pdf.

4. «Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología - Biomecánica de la córnea», Junio 13, 2011, http://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0365-66912005000400004&script=sci_arttext.

5. «Buceo - Wikipedia, la enciclopedia libre», Mayo 20, 2011, http://es.wikipedia.org/wiki/Buceo.

6. «campana1690edmundhalley.jpg (JPEG Imagen, 250x293 pixels) - Escalado (0%)», Mayo 20, 2011, http://files.subvalpo.webnode.com/200000007-cf6aed0645/campana1690edmundhalley.jpg.

7. «Cornea-contact lens interaction in the aquatic env... [CLAO J. 1997] - PubMed result», Junio 1, 2011, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9348447.

CENTRO OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

8. «Effect of increased atmospheric pressure on radial... [J Cataract Refract Surg. 1999] - PubMed result», Junio 1, 2011, http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10609206.

9. «F6.large.jpg (JPEG Imagen, 1800x950 pixels) - Escalado (38%)», Mayo 23, 2011, http://www.iovs.org/content/49/9/3919/F6.large.jpg.

10. «física», Junio 6, 2011, http://www.memo.com.co/fenonino/aprenda/fisica/fisic2.html.

11. Center for History and New Media, «Guía rápida», http://zotero.org/support/quick_start_guide.

12. «Historia :: Subvalpo», Mayo 20, 2011, http://subvalpo.webnode.com/historia/.

13. «Historia del submarinismo», Mayo 20, 2011, http://www.todobuceo.es/informacion/historia-submarinismo.php.

14. «Horror al vacío», Junio 6, 2011, http://www.enanorojo.com/2010/05/horror-al-vacio.html.

15. images (JPEG Imagen, 112x61 pixels) - Escalado (0%), Mayo 20, 2011, http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR47FdSK_B3vEDc4e_4HcFDxPURfJJwtXXeIDw0mCKeC-KgnQYWGg.

16. images (JPEG Imagen, 183x158 pixels) - Escalado (0%), Mayo 20, 2011, http://t3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSOW6Zjv70ll9tuBjcKaeHnRCB2AQRZwmDjSw5iXTG3SRv03SQTyA.

17. images (JPEG Imagen, 203x248 pixels) - Escalado (0%), Mayo 20, 2011, http://t0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRn7uy1P_n3eetVF_unHyqgHkPfrEEvDKt800uFfydyQoOhsvLjvQ.

COI CENTRO OPTOMETRIA INTERNACIONAL

18. «IntraMed - Artículos - El uso de gafas protectoras en natación puede afectar la presión intraocular», Mayo 20, 2011, http://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoID=56228.

19. «ISI Web of Knowledge [v.4.10] - Web of Science», Mayo 29, 2011, http://cel.isiknowledge.com/InboundService.do?product=CEL&action=retrieve&SrcApp=Highwire&UT=000244142900002&SID=U15EMlGDdJ52AODNgfI&Init=Yes&SrcAuth=Highwire&mode=FullRecord&customersID=Highwire.

20. «ISI Web of Knowledge [v.4.10] - Web of Science», Mayo 29, 2011, http://cel.isiknowledge.com/InboundService.do?product=CEL&action=retrieve&SrcApp=Highwire&UT=000171356500009&SID=Y2nMMc3NiBBIA7k9opL&Init=Yes&SrcAuth=Highwire&mode=FullRecord&customersID=Highwire.

21. Bajoelagua, «La gráfica o perfil de una inmersión | Bajoelagua - Todo sobre el buceo, submarinismo y el mar», Mayo 20, 2011, http://www.bajoelagua.com/articulos/buceo/perfilinmersion_2022.htm.

22. Bajoelagua, La Historia del Submarinismo | Bajoelagua - Todo sobre el buceo, submarinismo y el mar, Mayo 20, 2011, http://www.bajoelagua.com/articulos/reportajes-buceo/47.htm.

23. «La presión y el buceo», Mayo 23, 2011, http://www.e-travelware.com/zdive/dvpresion.htm.

24. «Ocularis» ¿Qué es la tensión ocular?», Mayo 23, 2011, http://ocularis.es/blog/?p=40.

25. «Ocularis» El deporte y la visión», Mayo 20, 2011, http://ocularis.es/blog/?p=153.

26. «Orden de 14 de octubre de 1997 por la que se aprueban las normas de seguridad para el ejercicio de actividades subacuáticas.», Mayo 20, 2011, http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/o141097-mf.html.

CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL COI

27. «Photorefractive Keratectomy - PRK Surgery - PRK Vs. LASIK», Mayo 29, 2011, http://lasik.lifetips.com/es/cat/62883/queratectom-a-fotorrefractiva-prk/index.html.

28. «Presión - Wikipedia, la enciclopedia libre», Junio 6, 2011, http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n.

29. «Presión atmosférica - Wikipedia, la enciclopedia libre», Mayo 23, 2011, http://es.wikipedia.org/wiki/Presi%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica.

30. profundimetro.jpg (JPEG Imagen, 280x280 pixels), Junio 6, 2011, http://4.bp.blogspot.com/_LtfWU4uxMHg/TCEpLbDn5EI/AAAAAAAAAAU/xPNKi8fu7Kk/s320/profundimetro.jpg.

31. Enoch T Huang et al., «Refractive change in response to acute hyperbaric stress in refractive surgery patients», Journal of Cataract and Refractive Surgery 28, no. 9 (Septiembre 2002): 1575-1580.

32. «Reología - Wikipedia, la enciclopedia libre», Junio 13, 2011, http://es.wikipedia.org/wiki/Reolog%C3%ADa.

33. «Untitled Document», Mayo 29, 2011, http://www.carrenovision.cl/contenido_cirugia_refractiva_faq.html.

34. «Viscoelasticidad - Wikipedia, la enciclopedia libre», Mayo 30, 2011, http://es.wikipedia.org/wiki/Viscoelasticidad.

35. «Viscoelasticidad - Wikipedia, la enciclopedia libre», Junio 13, 2011, http://es.wikipedia.org/wiki/Viscoelasticidad.

COI CENTRO DE OPTOMETRÍA INTERNACIONAL