

DESARROLLO INSTRUMENTAL Y METODOLÓGICO PARA ANALIZAR Y CORREGIR EL NISTAGMO CONGÉNITO

SUASTE, E.
LEYBÓN, J.

CINVESTAV-IPN, Departamento de Ingeniería Eléctrica.
Sección de Bioelectrónica.
Av. IPN No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco.
México D.F. Del. Gustavo A. Madero.

RESUMEN:

El presente trabajo describe las herramientas de instrumentación y de programación computacional desarrolladas para mejorar al máximo el estilo de vida visual de los pacientes con Nistagmo Congénito, teniendo en cuenta la aplicación de las metodologías más adecuadas y vanguardistas para corregir al máximo las molestias tanto de carácter fisiológico, como las de carácter estético.

PALABRAS CLAVE:

Nistagmo Congénito, programación, oftalmología, instrumentación, ambientación virtual.

ABSTRACT:

The biomedical instrumentation and software developed to improve visual lifestyle of patients with congenital nystagmus are described taking into account the application of vanguard methods to correct as good as possible physiological and esthetic symptoms.

KEYWORDS:

Congenital nystagmus, programming, ophthalmology, instrumentation, virtual environment.

EL NISTAGMO CONGÉNITO.

El nistagmo congénito (NC) es una enfermedad que se manifiesta en el sistema nervioso central como una patología del sistema oculomotor. Esta se presenta en pacientes con enfermedades neurológicas que afectan al reflejo vestíbulo-ocular; lamentablemente su mecanismo y/o patología básica aún no se conoce. Esta enfermedad se caracteriza por la presencia de movimientos rítmicos involuntarios bilaterales de los globos oculares (Figura 1). Estos movimientos pueden ser pendulares y de sacudida, dependiendo de su dirección, y se pueden clasificar en horizontal (H), vertical (V), oblicuo (O) y torsional (T). De acuerdo a su amplitud, el NC se clasifica en las combinaciones de periódico (Np) o aperiódico (Nap) y de tirón o sacudida (Ns). En ocasiones estos movimientos pueden ser disminuidos y/o controlados por el individuo por medio de posturas de la cabeza. El NC puede ser disminuido con cirugía pero no eliminarse totalmente.

La gran movilidad del ojo es un fenómeno bien conocido, y es producido gracias a la acción de seis músculos estriados extrínsecos insertados en los huesos de la órbita y el tejido conectivo del globo ocular. La dirección en la cual cada músculo hace girar el

globo ocular es regulada por los siguientes pares craneales: el oculomotor (III), troclear (IV) y el abductor (VI); estos pares nerviosos tienen neuronas inferiores, eferentes somático generales que inervan los músculos extraoculares voluntarios y el elevador del párpado [1] (Figura 2).

INSTRUMENTACIÓN PARA ANÁLISIS DE MOVIMIENTOS OCULARES

Dentro del historial del estado del arte en las técnicas de monitoreo de movimientos oculares, se describe la primera técnica basada en la observación directa apoyada por un arreglo de lentes simples que permitían magnificar la imagen del ojo del sujeto,

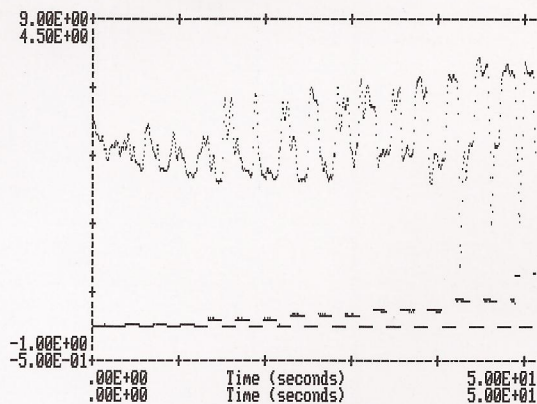


Figura 1. Señal característica de NC (trazo superior) y señal de estimulación (trazo inferior).

Recepción del artículo en su primera versión: mayo / 98
Aprobación del artículo en su versión final: diciembre / 98.
Responsable:

Ernesto Suaste
CINVESTAV-IPN, Depto. Ing. Eléctrica, Sección de Bioelectrónica.
Av. IPN No. 2508, Col. San Pedro Zacatenco.
México D.F. Del. Gustavo A. Madero.
Fax: 747-7080
e-mail: esuaste@mail.cinvestav.mx

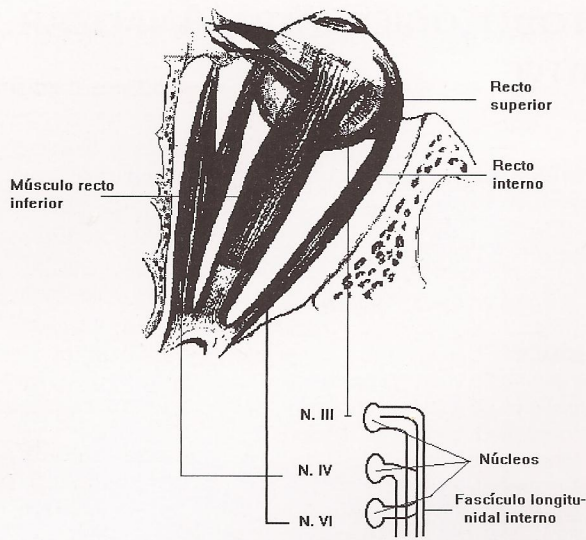


Figura 2. Músculos extrínsecos del ojo y su inervación.

permitiendo al observador mantener una distancia confortable con el sujeto; otra se basa en una luz rápida destellante en el campo visual que deja imágenes, pero se carecía de su registro; Delabarre en 1906 fija una varilla ligera directamente en la córnea de un ojo anestesiado por medio de anillos pegados, y el movimiento fue registrado por un kimógrafo de tambor rotatorio. A fines del siglo dieciocho, Dodge empezó a hacer registros fotográficos durante un movimiento ocular horizontal; una las técnicas usuales aprovecha la actividad eléctrica del ojo reconocida por Schoot en 1922 para monitorcar movimientos verticales y horizontales del ojo [2]; otra técnica en contacto directo con el ojo coloca alguna parte de una trayectoria óptica o electromagnética en o dentro de un lente de contacto [3]; otro método se basa en la forma del ojo y particularmente en la curvatura de la córnea, en la que se hace incidir un haz de luz que se reflejará dependiendo del ángulo que se forme con respecto a la forma cuasiesférica del ojo [2, 4]; y finalmente, una técnica se basa en las propiedades ópticas del ojo gracias a la frontera clara-obscura entre la esclerótica blanca y el iris de color oscuro, en donde se forma un círculo que puede rastrearse por varios métodos [5].

De las anteriores técnicas de monitoreo de actividad motriz ocular, se pueden citar los siguientes instrumentos como un ejemplo de la aplicación de tales principios: El Opto-oculógrafo (OOG) mostrado en la figura 3, basado en la reflexión infrarroja (900 nm) de limbo esclerocorneal, diseñado para el monitoreo de movimientos horizontales, verticales y oblicuos (de seguimiento, rápidos, involuntarios, de rastreo, vestibulo-oculares y de convergencia/divergencia) [6]. EL nistagmógrafo de reflexión infrarroja con fibras ópticas como guías de luz, que permite detec-

tar nistagmo de tipo rectilíneo y torsional gracias a la versatilidad en el arreglo de las fibras [6]. EL video-oculógrafo (VOG) hace uso de las técnicas de vídeo digitalizado de imágenes para obtener cuadro a cuadro la imagen del ojo, digitalizarla, procesarla, cuantificarla y almacenarla; su aplicación se extiende también a respuestas pupilares y perfiles de tonalidad de color del iris [7].

Teniendo en cuenta que cada método desarrollado ofrece alguna ventaja o desventaja en comparación con los anteriores, su implementación se fue reforzando con la representación gráfica de las señales en papel marcado con acotaciones respectivas, lo cual, en un principio, fue bastante útil, aunque la forma de analizar las señales sustentados únicamente en la apreciación visual mantenían resultados subjetivos como para ofrecer diagnósticos del todo aceptables.

Con la llegada de las computadoras, los sistemas de adquisición se sofisticaron, ya que en base a los programas computacionales se desplegaban las señales en la pantalla y se almacenaban en memoria RAM o en discos; y lo mejor fue la oportunidad de realizar el procesamiento de las señales para obtener resultados objetivos; en dichos programas se pueden incluir desde las etapas de acondicionamiento de la señal, como lo serían las etapas de filtrado, hasta las herramientas específicas para la extracción de parámetros importantes inmersos en la señal (espectro en potencia, primera derivada, integración, amplitud, etc.). De aquí que la aplicación de programas de cómputo comerciales que tratan de generalizar las aplicaciones posibles en el análisis de una señal de cualquier índole va siendo una fase importante dentro del sistema si se recuerda que actualmente la mayoría de los procesos de adquisición de datos dependen del control que sobre dicha tarea ejerce una computadora de la plataforma correspondiente (PC, MAC, etc.). Y como dato sobresaliente, la división de especialidades dentro del área de la investigación científica, ha permitido que a la par se desar-

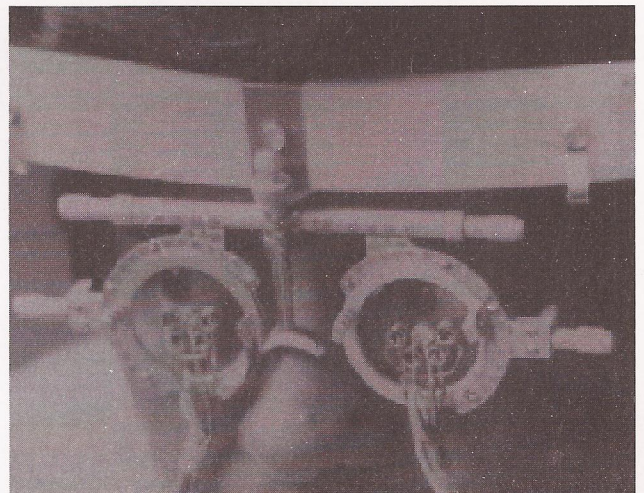


Figura 3. Reflexión esclero-corneal de luz infrarroja.

rollen programas de computo especializados en tareas específicas; tal es el caso de un programa desarrollado como parte del proceso de tratamiento de pacientes con NC [8]. El programa "JAISAR96" esta diseñado para tomar parte en el estudio oftalmológico practicado a pacientes con NC para entregar los datos más importantes en el análisis de señales puramente nistágmicas (latencia, posición, velocidad y frecuencia) de una forma mucho más rápida que cuando se utilizaban programas convencionales de aplicación general.

TERAPIAS Y MÉTODOS DE REHABILITACIÓN

Conforme se desarrollaban mejores instrumentos para auxiliar al médico oftalmólogo a tener mejor evidencia de presencia de NC en un paciente y determinar su grado de afección, a la par se conseguía la evolución de los posibles "tratamientos y/o terapias" para disminuir las molestias que acompañan esta patología, incluyendo el aspecto estético de las personas; de aquí que dependiendo de este déficit y de los criterios que el especialista ortoptista considere, se puede aplicar alguno de los siguientes métodos de rehabilitación de alteraciones óculo-motoras:

- **Método de prismoterapia.** Los prismas producen una re-dirección óptica de la línea de visión. Se ponen en línea los elementos retinianos correspondientes y se alivia la diplopía binocular si la potencia del prisma es correcta. La correcta alineación sensorial de los ojos es también una forma de tratamiento de anti-supresión [9].
- **Método con procedimientos quirúrgicos.** En 1953, Anderson en Melbourne y Kestenbaum en Nueva York describieron independientemente una operación para reducir la postura anormal de la cabeza, como característica de presencia de nistagmo congénito horizontal [10]. Se ha reconocido que la intensidad del nistagmo (definida como frecuencia X amplitud) tiene un efecto inverso con la agudeza visual, y esta varía en cada paciente con diferente dirección de la mirada.
- **Método con agentes farmacológicos.** El tratamiento de desalineamientos oculares y nistagmo, debidos a problemas relacionados con los músculos extraoculares también es posible en base a la aplicación de agentes farmacológicos; estos pueden actuar sobre un ojo en específico para disminuir o bloquear su movimiento y forzar así al otro ojo a buscar el acomodo para enfocar binocularmente una imagen. Para los procedimientos de debilitamiento muscular se aplica una inyección de toxina botulínica en el músculo extraocular produciendo parálisis de dicho músculo, de profundidad y duración dependiendo de la dosis. Las dosis empleadas son tan pequeñas que no sobreviene toxicidad general. La parálisis dura de manera típica varios meses. Otros

agentes farmacológicos son los ciclopléjicos y mióticos empleados para tratar el estrabismo [11].

- **Método mediante bio-retroalimentación acústica.** Otra técnica de importancia relevante en el tratamiento de procesos fisiológicos es mediante la bio-retroalimentación auditiva, la cual provee al paciente con información inmediata procedente de procesos biológicos que normalmente van más allá de lo esperado, y por tanto facilitan la regulación de la misma función. La aplicación clínica de terapias basadas en la bio-retroalimentación para problemas visuales es una de las más recientes técnicas en su tratamiento; y ha sido utilizada para lograr el control de diversas patologías oculares como los movimientos oculares y de acomodación; así como en el control y reducción de glaucomas, estrabismo, diplopía y nistagmo. Con la bio-retroalimentación acústica se han obtenido resultados satisfactorios en base a un entrenamiento temporal del paciente; ya sea visual o auditivamente [12] la aplicación de la retroalimentación, se ha logrado hasta por un par de minutos reducir considerablemente el nistagmo; brindando al paciente aplicar su entrenamiento durante ciertas actividades cotidianas en las que requiera el control total de su vista.

CLASIFICACIÓN DE INFORMACIÓN NISTÁGMICA

La clasificación de las señales nistágmicas mediante programas de computadora, forma parte de metodologías que permiten representar y visualizar rápidamente el tipo de NC presente en algún paciente para aplicar su tratamiento pertinente; de aquí que se ha generado una representación simbólica que permite interrelacionar las señales de los segmentos que componen un trazo nistágmico, con símbolos debidamente ubicados dentro de una imagen representativa y clasificadora [13, 14]. Los símbolos procesados por los programas representan entidades del mundo real, y en lugar de ejecutar simplemente cálculos, los programas establecen las relaciones entre estas entidades representadas simbólicamente. El tratamiento simbólico de NC (Figura 4) toma en consideración, como información, a las siguientes variables o atributos: la amplitud de ascenso y descenso, tiempo de ascenso y descenso, frecuencia así como la forma de onda [15, 16] (clasificación de L. F. Dell'Osso y R. V. Abadi). Con la finalidad de agilizar y simplificar la obtención de resultados y conclusiones del diagnóstico del NC se han agrupado los datos utilizando el método de "CLUSTER" [17], el cual agrupa valores comunes de un mismo atributo o variable, además de considerar la semejanza entre los elementos que pertenecen a un mismo conjunto o clase [18]. Considerando dicho tipo de representación simbólica, se ha desarrollado un análisis basado en lógica difusa [19], el cual permitirá hacer

combinaciones de estudios previos en cuanto a la semejanza de respuesta de un mismo paciente con NC en diferentes posiciones de estimulación par aun solo ojo o entre ambos, antes y después de ser intervenidos quirúrgicamente; o de un paciente con respecto a otro, combinando trayectorias (horizontal, vertical, oblicua), y ojos de estudio, de acuerdo al sexo, edad y tratamiento antes y después de una cirugía correctiva; ésto aplicando una relación basada en la ecuación de la distancia métrica [20] de Minkowski representada por:

$$Dp(X(j), Xn) = \left[\sum_{k=1}^m |X(j,k) - Xn(k)|^p \right]^{1/p}$$

donde:

$p \geq 1$

m es el número de atributos bajo consideración.

$Xn(j,k), [0,1]$ es la representación del atributo k para el estado j.

Ya que $Xn(k)$ representa el atributo k de enfermedad del paciente, éste siempre toma un valor individual.

REPRESENTACIÓN VIRTUAL DEL OJO CON NISTAGMO

En los últimos años, incursionando primero como elemento de diversión, se introducen las imágenes tridimensionales desplegadas como parte del esfuerzo de mejorar la animación de figuras en representadas en las pantallas de video-juegos; y aprovechando el gran potencial de esta forma de representar una imitación del mundo real, se comienza una nueva era en la ingeniería electrónica en la que se presentan nuevas dimensiones ampliadas en la resolución de las pantallas de video, mayor capacidad de memoria y mejores microprocesadores especializados en el manejo de video de alta resolución.

Así surge la idea de representar espacios y objetos reales mediante imágenes tridimensionales, con la característica de ser muy semejantes, pero virtuales. La gran versatilidad de esta nueva forma de observar inclusive figuras de fantasía, permite su aplicación en varias tareas del quehacer cotidiano (ingeniería automotriz, ingeniería de control automático, simuladores de vuelo, mercadotecnia, entretenimiento, etc.), hasta llegar inclusive al área médica, en donde se utiliza para adiestrar a estudiantes cirujanos sin necesidad de contar con un cuerpo humano y evitando las molestias que su conservación implican. De aquí surge la idea de aplicar esta herramienta de video en el área de oftalmología, específicamente para explotar sus beneficios generando un ojo virtual al que se le darán las características anatómicas y apariencia física iguales a las del ojo del paciente con NC (Figura 5). Actualmente se ha dado el primer paso dentro de su utilización al generar individualmente una simulación de un ojo humano y generar a partir de él una animación en base a los opto-oculogramas correspondientes al movimiento descrito durante un estudio oftalmológico de movimiento ocular. Con ésto se ha logrado grabar en un videocasete formato VHS la respuesta de la actividad motriz de un ojo de un paciente, permitiéndole al médico especialista revisar cuantas veces sea necesario dicha respuesta; y a la vez brinda la ventaja a los investigadores de contar con un paciente virtual del que directamente se puede hacer un procesamiento de imágenes o de señales [20].

Con esta herramienta se simula inclusive el movimiento de los músculos extraoculares para mostrar desde varios ángulos de visión su acción directa sobre el globo ocular cuando se presenta NC, y ayuda de forma más concreta a efectuar el proceso de intervención quirúrgica correctiva cuando aparece la posición compensatoria de la cabeza. También se utilizan este tipo de imágenes para controlar eventos observados mediante la telemedicina o telepresencia

200 pixeles

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

200
pixeles



tiempo de subida



tiempo de bajada

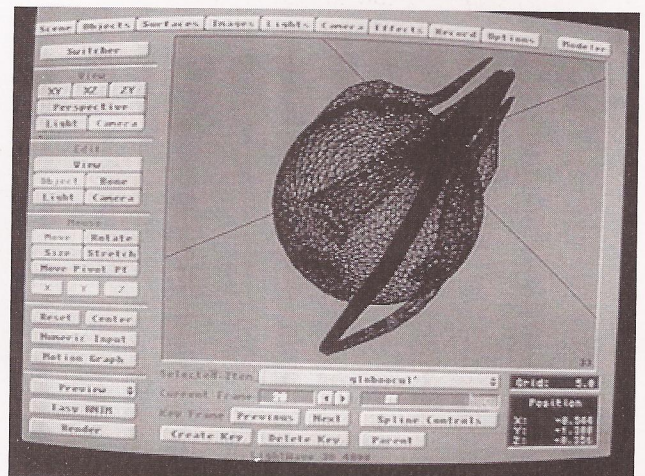


Figura 4. Simbología para clasificación del NC y su aplicación en un ejemplo.

Figura 5. Generación de un ojo virtual en tres dimensiones en base a polígonos.

en base a la programación de una cierta rutina de movimientos específicos y precisos en un modelo gráfico tridimensional para mostrar remotamente a una persona los pasos a seguir durante un tratamiento o un proceso clínico; ayudando a la vez a mejorar los resultados de tales procesos contando con los criterios y comentarios acertados de los oftalmólogos especialistas conectados virtualmente desde diferentes puntos geográficos. Ésto último es el objetivo de un proyecto que se tiene planeado para conectar virtualmente al personal del laboratorio de instrumentación oftalmológica en el Cinvestav-IPN, con especialistas oftalmólogos de dos clínicas dedicadas al cuidado de los ojos (Clínica Londres y la Clínica para Enfermos de los Ojos, Dr. Castilleja, S. C.).

APLICACIONES CLÍNICAS.

Gracias al interés que se ha despertado ante la necesidad de atender a la cantidad de pacientes que presentan NC, y sabiendo que su pronta atención durante la infancia ofrece mejor recuperación del control motriz de sus ojos, se desarrollaron varios instrumentos electrónicos para detectar las diferentes modalidades de NC (longitudinal y/o torsional); uno es el opto-oculógrafo que se tiene actualmente trabajando en las dos clínicas antes mencionadas gracias a un acuerdo de investigación con nuestra institución (Figura 6), obteniéndose resultados cuantitativos para la confiabilidad de los diagnósticos (Figura 7). También se generaron dos metodologías para detectar el nistagmo torsional, uno utilizando fibras ópticas colocadas en un cristal de un armazón oftalmológico [6] apuntando alrededor del limbo del iris-esclerótica (Figura 8), y el otro en base a una filmación del ojo en su actividad motriz como parte de la técnica de video-oculografía (Figura 9). Se generaron programas de cómputo especializados en el procesamiento de señales nistárgmicas, en su clasificación y en su análisis mediante "Lógica Difusa"; un ejemplo del funcionamiento de tales programas se presenta a continuación utilizando los datos adquiridos de un paciente con NC:

APLICACIÓN DE LÓGICA DIFUSA EN EL ANÁLISIS DE OPTO-OCULOGRAMAS PROVENIENTES DE PACIENTES CON NISTAGMO CONGÉNITO.

El tratamiento simbólico de NC toma en consideración como información a las siguientes variables o atributos :

La amplitud de ascenso y descenso, tiempo de ascenso y descenso, frecuencia así como la forma de onda.

De acuerdo a los registros, los valores límites posibles para cada una de las variables son:

- amplitud de ascenso y descenso (0 - 11.79 grados)
- tiempo de ascenso y descenso(0 - 0.6 segundos)
- frecuencia (0 - 20.0 Hertz)

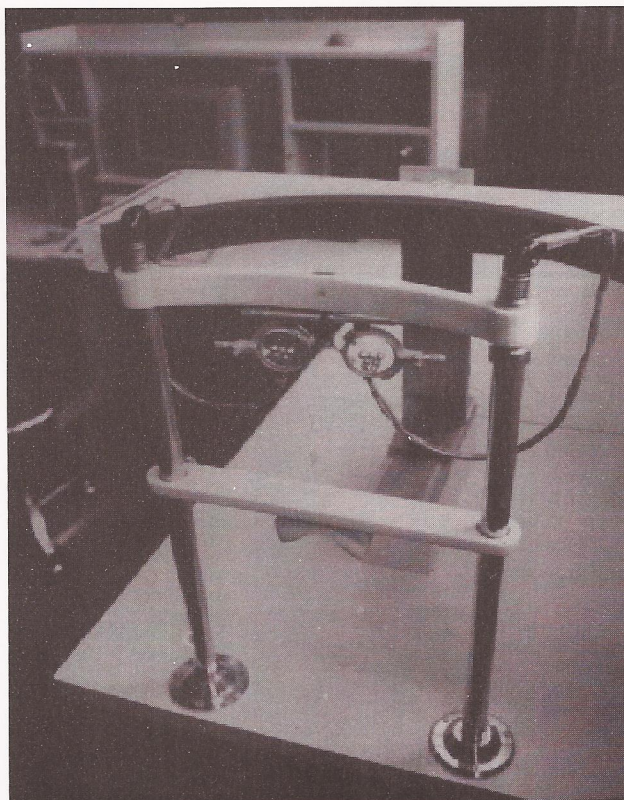
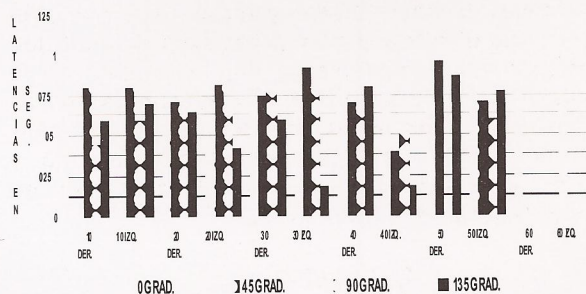
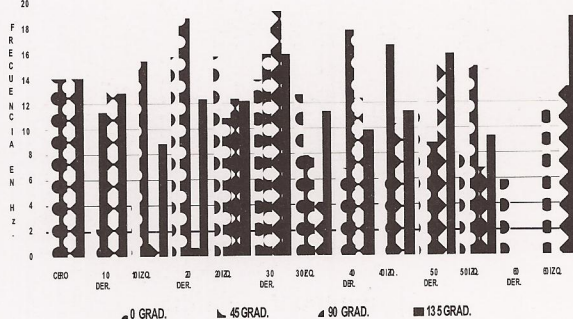


Figura 6. Soporte oftalmológico del sistema de reflexión esclero-corneal de luz infrarroja en el opto-oculógrafo.



(a)



(b)

Figura 7. Resultados de un estudio de movilidad ocular practicado en un paciente con NC.

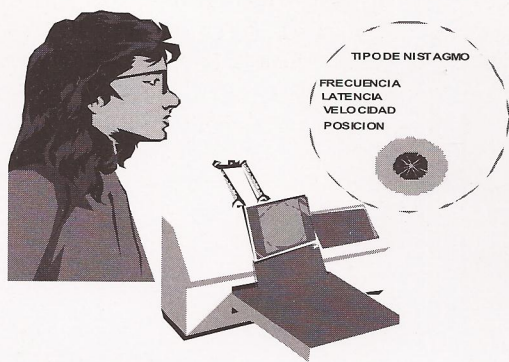


Figura 8. Opto-oculógrafo basado en fibras ópticas.

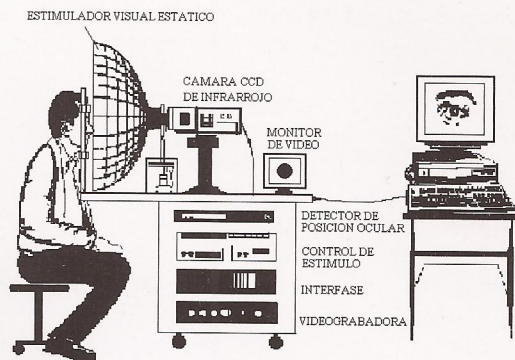


Figura 9. Video-oculógrafo actuando como Nistagmógrafo asociado a un estimulador visual estático tipo perimétrico.

32

- con respecto a las formas de onda nos hemos basado en la clasificación que establecieron L. F. Dell'Osso y R.V. Abadi:

1. Pendular puro P
2. Pendular asimétrico AP
3. Pendular con fijaciones sacádicas PFS
- 4 y 5. Tirón unidireccional puro con fijaciones sacádicas JR (derecha) y JL (izquierda)
- 6 y 7. Tirón unidireccional puro con fijaciones extendidas JREF (der.) y JLEF (izq.)
- 8 y 9. Tirón con movimientos lentos del ojo pseudo-cicloides RPC (der.) y LPC (izq.)
- 10 y 11. Tirón con movimientos lentos del ojo pseudo-tirón PJR (der.) y PJJ (a la izq.)
12. Tirón unidireccional puro PP
13. Tirón unidireccional puro con tirones sacádicos PPFS
14. Triangular T
- 15 y 16. Tirón bidireccional BDJR (a la derecha) y BDJL (a la izquierda)
- 17 y 18. Doble tirón DJR (a la derecha) y DJL (a la izquierda)

El NC puede caracterizarse mediante 6 atributos o variables, además de incluir dos planos anatómicos de referencia para cada posición (H,V,O y D), como a continuación se enuncian:

H: nasal (N) y temporal (T), V: superior (S) e inferior (I), O: nasal-superior (N-S) y temporal-inferior (T-I), D: temporal-superior (T-S) y nasal-inferior (N-I), por lo tanto habrá 12 posibles alternativas, representadas con solo un símbolo (Figura 10).

Para determinar la semejanza, particionamos en 16 rangos de valores para cada variable o atributo formando así un patrón de referencia al que hemos denotado como MAPA el cual está representado por una cuadrícula cuyas casillas corresponden a 15 clases de semejanza y una última que ha sido reservada para los valores que no tengan similitud con ninguna clase o para aquellos valores que estén fuera de rango. Con respecto a la forma de onda, existen 18 patrones diferentes por lo que se ha establecido un mapa con 20 casillas.

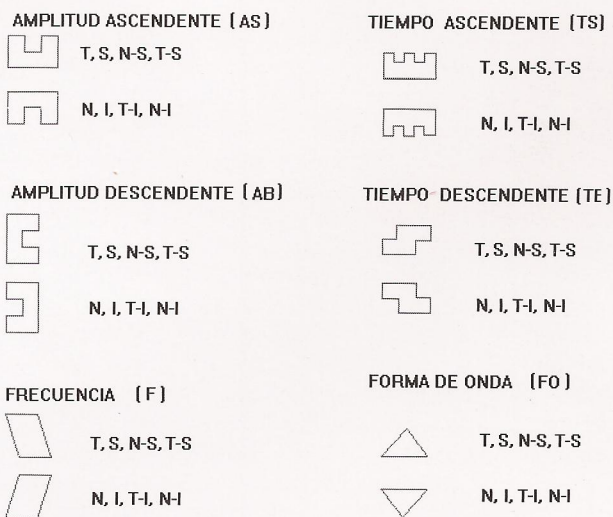


Figura 10. Símbolos asignados a cada uno de los parámetros o características representantes del NC

	AMPLITUDES DEL NISTAGMO	TIEMPOS DE DURACION DEL NISTAGMO	FRECUENCIA DEL NISTAGMO	FORMAS DE ONDA DEL NISTAGMO
1:	0 - 0.778	0 - 0.040	0 - 1.33	P
2:	0.790 - 1.557	0.041 - 0.080	1.34 - 2.66	AP
3:	1.569 - 2.336	0.081 - 0.120	2.67 - 3.99	PFS
4:	2.348 - 3.115	0.121 - 0.160	4.00 - 5.32	JR
5:	3.126 - 3.893	0.161 - 0.200	5.33 - 6.65	JL
6:	3.905 - 4.672	0.201 - 0.240	6.66 - 7.98	JREF
7:	4.684 - 5.451	0.241 - 0.280	7.99 - 9.31	JLEF
8:	5.463 - 6.230	0.281 - 0.320	9.32 - 10.64	RPC
9:	6.241 - 7.008	0.321 - 0.360	10.65 - 11.97	LPC
10:	7.202 - 7.787	0.361 - 0.400	11.98 - 13.30	PJJ
11:	7.799 - 8.566	0.401 - 0.440	13.31 - 14.63	PJR
12:	8.578 - 9.345	0.441 - 0.480	14.64 - 15.96	PP
13:	9.356 - 10.12	0.481 - 0.520	15.97 - 17.29	PPFS
14:	10.13 - 10.90	0.521 - 0.560	17.30 - 18.62	T
15:	10.91 - 11.79	0.561 - 0.600	18.62 - 20.00	BDJR
16:	FUERA DE RANGO	FUERA DE RANGO	FUERA DE RANGO	BDJL
17:				DJR
18:				DJL
19:				FUERA DE RANGO

Tabla 1. Mapas de amplitud, tiempo, frecuencia y formas de onda con los valores asignados por casilla.

La representación gráfica de los rangos de valores de la Tabla I es como sigue (Figura 11):

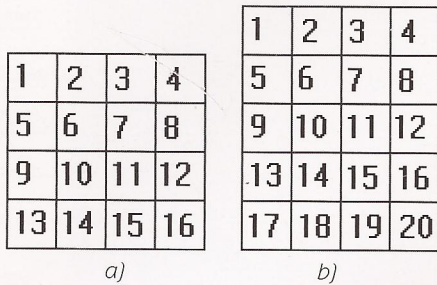


Figura 11. Mapas de referencia para los parámetros característicos del NC. (a) mapa representativo de los rangos de valores para amplitud, tiempo de duración y frecuencia, (b) mapa de la forma de onda {P, AP, ..., DJL}.

Una vez representados los rangos de valores de los atributos sobre los mapas de referencia, se colocan los símbolos en las casillas de acuerdo a su valor, generando así un patrón imagen que despliega la información más relevante del caso, indicando las características que predominan. Finalmente se presenta en la siguiente figura un mapa con la distribución respectiva de sus datos.

Los mapas de contenido de frecuencia de nistagmo que presenta un observador para cada una de las posiciones de estimulación se muestran en la Figura 1. b), los mapas B, C, D y E (D, O, V y H respectivamente) mientras que la representación global de las 4 posiciones se muestra en el mapa A, es decir, la superposición de los 4 mapas.

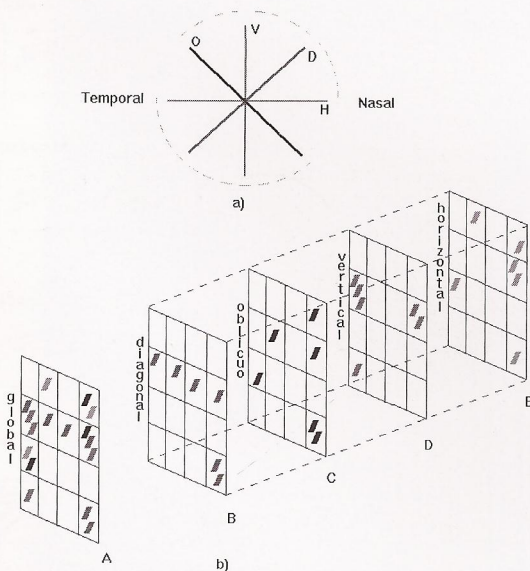


Figura 12. a) Se muestran las cuatro posiciones del estimulador Horizontal (H), Diagonal (D), Vertical (V), y Oblicua (O) tanto para el área nasal como para la temporal.

Como se puede observar hay variación en cuanto a la repetitividad del valor de frecuencia para los diferentes grados de estimulación, lo cual indica que no es un movimiento periódico, de lo contrario en los mapas se observaría casi el mismo contenido espectral, concentrándose en las mismas casillas los símbolos para cada uno de los mapas, presentando en el mapa global la misma distribución

Considerando el tipo de representación simbólica que anteriormente se discutió, enseguida se desarrolla un análisis basado en lógica difusa, el cual permitirá hacer combinaciones de estudios previos en cuanto a la semejanza de respuesta de un mismo paciente con NC: en diferentes posiciones de estimulación para un solo ojo o entre ambos, antes y después de ser intervenido quirúrgicamente; o de un paciente con respecto a otro: combinando trayectorias (H, V, D y O), y ojos de estudio, de acuerdo al sexo, la edad, y tratamiento antes y después de cirugía.

Un concepto que es la clave para trabajar con lógica difusa es la asignación de los valores de pertenencia de la función característica en el rango [0,1]. Tomando como base lo anterior, se plantea otra forma de interpretar los resultados obtenidos de los mapas por medio de una representación tipo matricial difusa. Esta representación matricial considera valores ponderados o grado de pertenencia en el rango [0,1], el máximo número de símbolos permitidos en una casilla, 24, le corresponderá el valor de 1, mientras que cuando no se presente ningún símbolo se le asignará cero, los valores intermedios corresponden al grado de frecuencia de símbolos en una misma casilla.

Los valores de la función de relación se calcularon de la siguiente manera:

- 24 símbolos en una misma casilla equivalen a $24/24 = 1$
- 20 símbolos en una misma casilla equivalen a $20/24 = 0.833$
- 10 símbolos en una misma casilla equivalen a $10/24 = 0.416$, etc.

Los cuales representan el grado de pertenencia a una misma casilla, es decir, según el número de atributos que tengan un valor muy semejante (según los límites) pertenecerán o no a una misma casilla.

Los valores de relación para los símbolos pertenecientes a una misma casilla se muestran en la Tabla II.

La gráfica de la Figura 13 muestra la función de pertenencia de un conjunto difuso entre el número de símbolos por casilla y el valor de relación.

Por lo tanto, considerando los mapas resultantes del método de representación ergonómica del nistagmo se pueden ver claramente las siguientes matrices, donde cada número dentro del mapa corresponde a la frecuencia con la que ocurre un valor dentro de una clase, es decir el número de símbolos en una misma casilla y los elementos de la matriz representan los valores de relación del conjunto difuso.

NÚMERO DE SÍMBOLOS EN UNA MISMA CASILLA	VALOR DE RELACIÓN	NÚMERO DE SÍMBOLOS EN UNA MISMA CASILLA	VALOR DE RELACIÓN
0	0	13	0.541
1	0.041	14	0.583
2	0.083	15	0.625
3	0.125	16	0.666
4	0.166	17	0.708
5	0.208	18	0.750
6	0.250	19	0.791
7	0.291	20	0.8333
8	0.333	21	0.875
9	0.375	22	0.916
10	0.416	23	0.958
11	0.458	24	1.000
12	0.500		

Tabla II. Valores de relación tabulados por número de símbolos en una misma casilla.

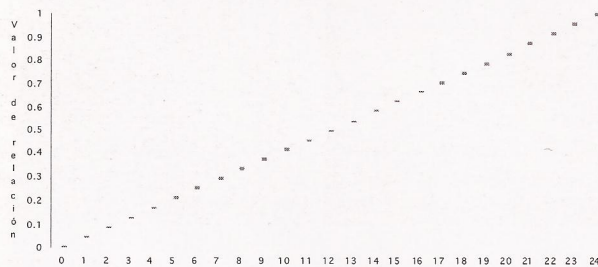


Figura 13. Función de relación de un mapa difuso.

Se analizan los casos, cuando mira hacia las áreas: (T, S, N-S, T-S) de todas las posiciones.

Por ejemplo para la posición horizontal: se tiene una cuadrícula que representa al mapa. En cada casilla se registra el número de símbolos por casilla o la frecuencia de semejanza de las clases. En este registro en la casilla 2 hay 5 símbolos mientras que para la 16 solo hay uno, es decir, la frecuencia de semejanza entre valores fue mayor en la casilla 2 que en la 16. En la matriz se asignan 4 renglones y 4 columnas debido a que el mapa presenta una cuadrícula de 4x4. Sus elementos son los valores de relación del conjunto difuso. Otra forma de representarlo es por medio del diagrama sagital (100) el cual muestra dos columnas, la columna izquierda y el renglón superior de la matriz. Las flechas indican el valor de relación que existe entre ambas columnas. Por ejemplo, la línea que une al número 1 de la columna de la izquierda con el número 2 de la columna de la derecha con un valor de 0.208 representa el valor que existe en común con el renglón 1 de la columna 2; mientras que la línea que une al número 4 de la columna de la izquierda con el número 4 de la columna de la derecha con un valor de 0.041 representa el valor que existe en común con el renglón 4 de la columna 4. Este modo se aplicó a todos los mapas.

		1	2	3	4														
H(T)	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr></table>	5															1	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.208 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0.041 \end{bmatrix}$	
5																			
			1																

		1	2	3	4														
V(S)	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr></table>	1	1			1	1										1	$\begin{bmatrix} 1 & 0.041 & 0.041 & 0 & 0 \\ 2 & 0.041 & 0.041 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0.041 & 0 & 0 & 0.041 \end{bmatrix}$	
1	1																		
1	1																		
			1																

		1	2	3	4														
O(N-S)	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td></td><td>2</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr></table>		2	1	1												2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.083 & 0.041 & 0.041 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0.083 \end{bmatrix}$	
	2	1	1																
			2																

		1	2	3	4														
D(T-S)	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td></td><td></td><td>4</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr></table>			4													2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0.166 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0.083 \end{bmatrix}$	
		4																	
			2																

		1	2	3	4														
G L O B A L	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td>1</td><td>8</td><td>5</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>6</td></tr></table>	1	8	5	1	1	1										6	$\begin{bmatrix} 1 & 0.041 & 0.333 & 0.208 & 0.041 \\ 2 & 0.041 & 0.041 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0.041 & 0 & 0 & 0.250 \end{bmatrix}$	
1	8	5	1																
1	1																		
			6																

Ahora realizando el mismo procedimiento pero para cuando el paciente mira hacia las áreas (N, I, T-I, N-I) tenemos los siguientes esquemas:

		1	2	3	4														
H(N)	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td>1</td><td>3</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr></table>	1	3														1	$\begin{bmatrix} 1 & 0.041 & 0.125 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0.041 & 0 & 0.041 \end{bmatrix}$	
1	3																		
			1																

		1	2	3	4														
V(I)	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td>1</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>1</td></tr></table>	1	2				1										1	$\begin{bmatrix} 1 & 0.041 & 0.083 & 0 & 0.041 \\ 2 & 0 & 0.041 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0.041 \end{bmatrix}$	
1	2																		
	1																		
			1																

		1	2	3	4														
O(T-I)	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td>2</td><td>2</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr></table>	2	2														2	$\begin{bmatrix} 1 & 0.083 & 0.083 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0.083 \end{bmatrix}$	
2	2																		
			2																

		1	2	3	4														
D(N-I)	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td></td><td>2</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td></tr></table>		2	2													2	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0.083 & 0.083 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & 0.083 \end{bmatrix}$	
	2	2																	
			2																

		1	2	3	4														
G L O B A L	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"><tr><td>4</td><td>9</td><td>2</td><td></td></tr><tr><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>6</td></tr></table>	4	9	2			1										6	$\begin{bmatrix} 1 & 0.166 & 0.375 & 0.083 & 0.041 \\ 2 & 0 & 0.041 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0.041 & 0 & 0.250 \end{bmatrix}$	
4	9	2																	
	1																		
			6																

Para poder decir que semejanza tienen la patología cuando el individuo observa hacia el área nasal y cuando lo hace hacia el área temporal se realiza el siguiente análisis aplicando una relación basada en la ecuación de la distancia métrica de Minkowski, que adecuada a los parámetros del ejemplo queda:

$$D2(N, T) = D2[T_{\mu w}(Si, j), N_{\mu w}(Si, j)] = \left[\sum_{j=1}^m |T_{\mu w}(Si, j) - N_{\mu w}(Si, j)|^2 \right]^{1/2}$$

donde: para esta aplicación damos el valor de 2 para el parámetro p de la distancia euclidiana por medir,

$T_{\mu w}(Si, j)$ son los grados de pertenencia, [0,1],
 $N_{\mu w}(Si, j)$ son los grados de pertenencia, [0,1]

Aplicando esta ecuación a las matrices del área nasal y temporal de las 4 posiciones de estimulación tenemos:

Para la posición horizontal:

<table style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0.208</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0.041</td></tr> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Temporal</p>		1	2	3	4	1	0	0.208	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0	0	0.041	<table style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>0.041</td><td>0.125</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>3</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>4</td><td>0</td><td>0.041</td><td>0</td><td>0.041</td></tr> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Nasal</p>		1	2	3	4	1	0.041	0.125	0	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	4	0	0.041	0	0.041	<table style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td></td><td></td><td colspan="4">Si</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>a11</td><td>a12</td><td>a13</td><td>a14</td></tr> <tr><td>2</td><td>a21</td><td>a22</td><td>a23</td><td>a24</td></tr> <tr><td>3</td><td>a31</td><td>a32</td><td>a33</td><td>a34</td></tr> <tr><td>4</td><td>a41</td><td>a42</td><td>a43</td><td>a44</td></tr> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Arreglo Matricial</p>			Si						1	2	3	4	1	a11	a12	a13	a14	2	a21	a22	a23	a24	3	a31	a32	a33	a34	4	a41	a42	a43	a44
	1	2	3	4																																																																																
1	0	0.208	0	0																																																																																
2	0	0	0	0																																																																																
3	0	0	0	0																																																																																
4	0	0	0	0.041																																																																																
	1	2	3	4																																																																																
1	0.041	0.125	0	0																																																																																
2	0	0	0	0																																																																																
3	0	0	0	0																																																																																
4	0	0.041	0	0.041																																																																																
		Si																																																																																		
		1	2	3	4																																																																															
1	a11	a12	a13	a14																																																																																
2	a21	a22	a23	a24																																																																																
3	a31	a32	a33	a34																																																																																
4	a41	a42	a43	a44																																																																																

$$D2(N, T) = [(T_{11} - N_{11})^2 + (T_{12} - N_{12})^2 + (T_{42} - N_{42})^2 + (T_{44} - N_{44})^2]^{1/2}$$

$$D2(N, T)_H = [(0 - .041)^2 + (.208 - .125)^2 + (0 - .041)^2 + (.041 - .041)^2]^{1/2} = 0.101$$

para las demás posiciones se tiene:

$$D2(N, T)_V = 0.083$$

$$D2(N, T)_O = 0.101$$

$$D2(N, T)_D = 0.117$$

Como se puede apreciar la posición vertical tiene un valor mínimo comparado con los demás, por lo tanto tiene una distancia menor, indicando una similitud mayor, es decir, entre más pequeño sea el resultado mayor será la similitud entre los parámetros bajo análisis.

CONCLUSIONES

De acuerdo a las necesidades existentes durante la examinación de pacientes con NC en ambiente clínico, se han mejorado las técnicas de registro de señales nistárgicas, e implementado las pertinentes de acuerdo al tipo de nistagmo por analizar; de igual forma, se han reducido los tiempos de procesamiento de señales para la obtención de resultados objetivos durante el proceso de diagnóstico, y se ha creado una nueva forma de visualizar la respuesta ocular de los pacientes; asimismo, se está continuando con la creación de imágenes oculares virtuales que muestran el movimiento muscular extrínseco de un paciente con NC (Figura 14) y representan la actividad real del ojo analizado durante el estudio oftalmológico, convirtiéndose en una forma práctica y eficaz de visualizar el comportamiento motriz patológico.

Finalmente, se concluye que la incansable lucha por entender más esta patología, aunado a la aplicación de las invenciones que ofrece el desarrollo tecno-científico, han permitido avanzar paulatina-

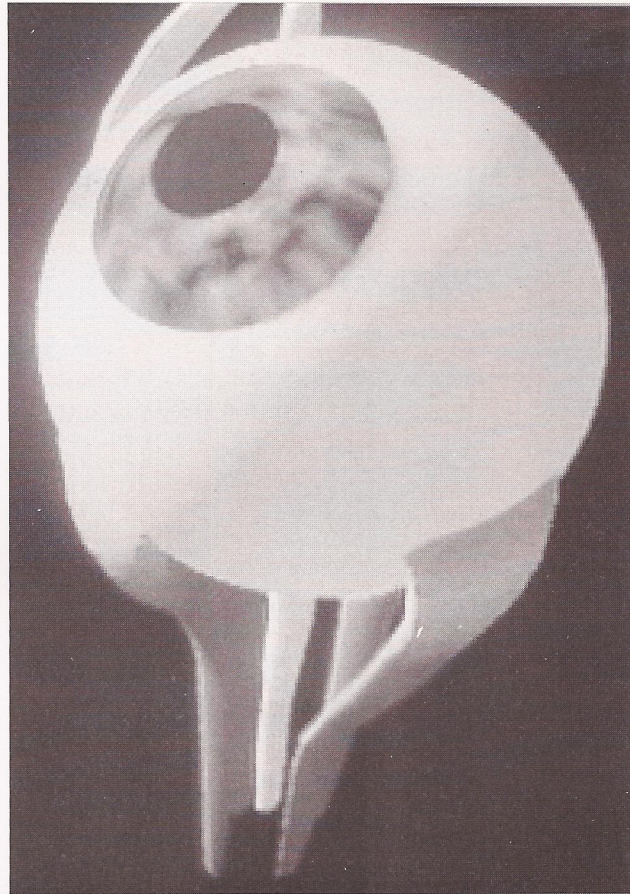


Figura 14. Visualización de una imagen virtual perteneciente a una animación de la respuesta óculo-motora de un paciente con NC.

mente con óptimos resultados hacia la frontera que todavía nos impide brindar a los pacientes la total recuperación de su agudeza visual. De ahí la importancia de los innovativos métodos de diagnóstico oftalmológico interactivos [22].

REFERENCIAS

1. Dr. Arthur C. Guyton. "Tratado de Fisiología Médica". Segunda edición. Edit. Interamericana, S. A. 1963.
1. Young, L. R; Shenna, D. "Methods & Design. Survey of eye movements recording methods". Behavior Research Methods & Instrumentation 7, 397 - 429, 1975.
2. Robinson D. A. "A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field". IEEE Transactions on Biomedical Electronics, pp. 137-145. 1963.
3. Marchant J and Morrisette R. "Remote measurement of eye direction allowing subject motion over cubic foot of space". IEEE Transactions on Biomedical Engineering, BME-21, pp. 309 - 317, 1974.
4. Bahill A. T. and Stark L. "The trajectories of saccadic eye movements". Scientific American, 240, pp. 85 - 93, 1975.
5. Suaste E., Alfonso H. and Limón E. "Bioinstrumentation for the clinical analysis of nistagmus eye movements, opto-oculography (OOG)", Medical & Biological Engineering & Computing, vol. 19 Supplement part 1, pp. 572, 1991.

6. Suaste E., Leija L. and Sossa H. "Measurement with fiber optics of nystagmus eye movements", in biomedical optoelectronic instrumentation, Editors: James A. Harrington, David M. Harris, Abraham Katzir, SPIE proc. Vol. 2396, pp. 130-135, 1995.
7. Suaste, C. Cajica and P. Rivera; "Video-oculography for measurements of torsional nystagmus"; Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE in Medicine and Biology Society, Vol. 15, pp. 38 y 39. 1993.
8. Suaste E., Rivera M., Rivera P. y Limón E. "Bioinstrumentation and power spectrum density of opto-oculograms (OOG) for clinical analysis of nystagmus eye movement". 2nd Far Eastern Conference on Medical and Biological Engineering (FECMBE '93), pp. 323, Beijing China, 1993.
9. Norman Bier. "Correction of subnormal vision". Second Edition. Appleton-Century-Crofts. 1970.
10. Sterberg-Raáb A. Anderson-Kestenbaum. "Operation for asymmetrical gaze nystagmus". Brith. J. Ophthalm., Vol. 47, No. 6, pp. 339-345. 1963.
11. Goodman & Gilman's "The Pharmacological basis of therapeutics". Chapter 65, Ocular pharmacology. Ninth edition. McGraw-Hill. 1996.
12. Kenneth J. Ciuffreda. "Eye movement auditory biofeedback therapy for nystagmus: past, present and future". Proceedings - 19th International Conference-IEEE/EMBS Oct. 30-Nov. 2, 1997 Chicago, IL, USA.
13. Suaste E., Rodríguez D., Leybón J., Leija L. and Sossa H. "Congenital nystagmus waveforms generator and symbolic representation". 19th International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Chicago, IL, USA. pp. 1478 - 1481, 1997.
14. Suaste E., Leija L., Rodríguez D. and Sossa H. "Ergonomic or symbolic representation of congenital nystagmus". Medical and Biomedical Engineering Computing, part. 2, Nice, France, pp. 794, 1997.
15. Dell'Osso L. F. & Daroff. R. B. "Congenital Nystagmus Waveforms and Foveation Strategy". Documenta Ophthalmologica 39,1 : 155-182, 1975.
16. Abadi R. V. and Dickinson C. M. "Waveform characteristic in congenital nystagmus". Documenta Ophthalmologica, Vol. 64, pp. 153 - 167, 1986.
17. Jarvis R. A. and Patrick E. A. "Clustering using a similarity measure based on shared near neighbors". IEEE Transactions on Computers, Vol. c-22, No. 11, pp. 1025 - 1034, 1973.
18. Chang C. L. and Lee R. C. T. , "A Heuristic Relaxation Method for Nonlinear Mapping in Cluster Analysis", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics. pp. 197 - 200, 1973.
19. Zadeh L. A., "Fuzzy Sets". Information and Control, 8 (3), pp. 338 - 353, 1965.
20. Kaufmann A. and Gupta M. M., "Introduction to fuzzy arithmetic theory and applications", Van Nostrand Reinhold, 1991.
21. Suaste, E., Rivera, P., Leybón J., Avila, J., Salazar, V., Leija, L., and Sossa, H., "3D Visualization, Simulation, and Modeling of Eye-Pupil Movements and Visual Field for Clinical Applications", 18th Ann. Int. conf. IEEE-EMBS , N° 146, 1996.
22. Suaste, E., "Telediagnóstico Oftalmológico y Telepresencia Interactiva". Ingeniería Biomédica: antecedentes, desarrollo y desenlaces en México. pp 131-141, 1ª edición, Cinvestav-IPN, México 1998.

