

## Mètodes experimentals d'exploració clínica del sistema visual

### PRÀCTICA 1. PERIMETRIA GOLDMANN

#### 1. Objectiu

Introduir el maneig del campímetre Goldmann.

#### 2. Mètode experimental

El campímetre Goldmann és un dispositiu que permet projectar estímuls lluminosos circulars, de diàmetre i luminància controlats, sobre una superfície difusora, en forma de cúpula, la luminància mitjana de la qual també és controlable, de manera que és possible mesurar llindars de luminància amb diferents condicions d'adaptació en diferents punts del camp visual (campimetria estàtica). Alternativament, el dispositiu també permet estimar localitzacions del mateix nivell de sensibilitat o isòpteres —en particular, els límits del camp visual—, utilitzant estímuls d'intensitat fixa que es mouen a baixa velocitat, i determinant l'excentricitat a la qual són detectats per primera vegada, al llarg de diversos meridians del camp visual (campimetria cinètica). En aquesta pràctica, ens centrarem en la campimetria cinètica.

L'experimentador ha de triar tots els paràmetres del test i implementar el mètode de mesura. Abans de començar la pràctica, heu de localitzar els comandaments següents: 1) control de la luminància del fons (totes les mesures les farem amb la luminància màxima del fons, per a assegurar-se que estem treballant en l'interval de Weber), 2) control de la grandària dels estímuls, 3) control de la luminància del test, 4) control de la posició dels estímuls i 5) instruments per a controlar el posicionament del pacient.

El procediment per a mesurar una campimetria cinètica és:

#### 1. Regles generals per a la presentació d'estímuls.

- a. L'orde de presentació ha de ser aleatori
- b. La velocitat dels estímuls hauria de ser el més constant possible, i igual a 5 graus/segon
- c. L'exploració del camp hauria de ser de 15 en 15 graus, evitant el meridià horitzontal i el vertical, però explorant a un costat i a l'altre de cada un.
- d. L'estímul hauria d'estar apagat quan es mou per a iniciar l'anàlisi d'un nou meridià.

#### 2. Regles específiques per a la campimetria cinètica.

- a. L'exploració comença sempre en la perifèria més llunyana.
- b. L'elecció dels estímuls es fa en funció de l'edat (per davall dels 50 anys, I-4e, I-3e i I-2e per a les regions perifèrica, intermèdia i central; per damunt dels 50, II-4e, I-4e i I-2e o I-3e).

### 3. Exercicis

1. Obtén el mapa de campimetria cinètica de dos observadors, amb els estímuls adequats, i compara'ls.
2. Indica les dificultats que heu trobat tant l'examinador com l'observador en el procés de mesura. Tin en compte els factors següents: 1) durada del test i els seus efectes en l'observador, 2) precisió en el posicionament de l'observador, 3) existència o absència de tècniques de control de qualitat de la mesura. Pot el subjecte falsejar fàcilment els resultats? Quins procediments poden utilitzar-se per a assegurar que la qualitat de mesura és la millor possible?
3. Quin efecte té l'elecció de la velocitat de desplaçament sobre les mesures?
4. Quina és la sensibilitat mesurada de cada una de les isòpteres? Ajuda't amb la taula 1 i l'equació 1

Taula 1. Transmitàncies del Goldmann:

	e	d	C	B	a
1	0.0315	0.025	0.02	0.016	0.0125
2	0.1	0.08	0.063	0.05	0.04
3	0.315	0.25	0.2	0.16	0.125
4	1	0.8	0.63	0.5	0.4

La sensibilitat,  $S$ , en decibels dB es defineix de la manera següent:

$$S(dB) = 10 \log_{10} \frac{\Delta x_{max}}{\Delta x_{lin}} \quad \text{eq.1}$$

on  $x$  és la magnitud que es mesura a l'experiment (en el nostre cas una luminància),  $\Delta x_{max}$  la màxima variació de la magnitud que pot produir el dispositiu i  $\Delta x_{lin}$  el valor corresponent al llindar del subjecte.

5. Procediment campimetria estàtica: amb aquest campímetre també podem mesurar la campimetria estàtica. Serveix per a esbrinar la sensibilitat en certs punts del camp visual:
  - 5.1 Dissenya un procediment per a implementar el mètode psicofísic de mesura 4:2:1.
  - 5.2 Usant el mètode 4:2:1 que has implementat en l'apartat anterior, determina la sensibilitat de l'observador a un estímul de grandària III i V en fòvea i a 15 graus nasal, sobre el meridià central. Indica l'efecte de l'excentricitat i la grandària sobre els llindars mesurats. És el resultat que esperaves? Raona-ho.
  - 5.3 Raona la qualitat de les mesures que has obtingut en l'apartat anterior. Tin en compte els factors següents: durada del test, precisió en el posicionament de l'observador, existència o absència de tècniques de control de qualitat de la mesura. Podries introduir millores en alguns d'aquests aspectes?

## Mètodes experimentals d'exploració clínica del sistema visual

### PRÀCTICA 2. MESURA DE LA FUNCIÓ DE SENSIBILITAT AL CONTRAST

#### 1.0 Objectiu

Conèixer la metodologia i les opcions de mesura de la funció de sensibilitat al contrast acromàtic (CSF) en diverses condicions i amb dos dispositius diferents. Analitzar els possibles paràmetres de distorsió.

#### 2.0. Mètode

Determinar amb el dispositiu LCD chart CC-100XP sèries de Topcon el contrast llindar necessari per a detectar xarxes acromàtiques de diferent freqüència espacial. Les mesures es faran monocularment, amb l'observador situat a una distància d'observació de 4 m de la pantalla.



Figura 1. Dispositiu LCD chart CC-100XP

L'examinador pot seleccionar un dels modes predeterminats o variar les freqüències i/o contrastos a mesurar. El mètode de mesura és automàtic, apareix en pantalla un dels estímuls. La xarxa podrà estar orientada en tres direccions diferents de l'espai, esquerra, dreta o vertical (vegeu figura 2).

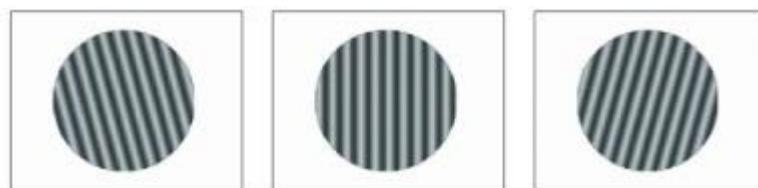


Figura 2. Exemple de l'estímul en les seues tres orientacions.

L'observador ha de contestar quina és la direcció de la xarxa i l'examinador introdueix la resposta en el comandament del dispositiu. En acabar la mesura de totes les freqüències espacials, es mostra una gràfica amb els resultats en la pantalla.

Mesurar la CSF amb el dispositiu Optec 6500 Visió Tester de Stereoptical en les mateixes condicions que l'anterior.



Figura 3. Dispositiu Optec 6500

En aquest cas el mètode de mesura no és automàtic, sinó que cal instruir a l'observador al llarg de tota la sessió de mesura, i l'examinador és el que va canviant l'estímul que el pacient ha de veure.

### FUNCTIONAL ACUITY CONTRAST TEST (F.A.C.T.)®

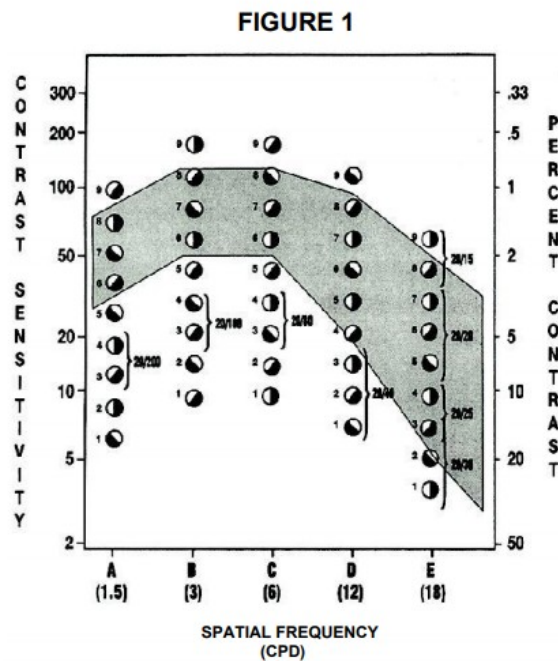


Figura 4. Full de resultats

### 3.0 Exercicis a realitzar

1. Representar en la mateixa gràfica les CSF acromàtiques de dos observadors.
2. Representar en la mateixa gràfica les CSF mesurades en les mateixes condicions dels dos dispositius emprats.
3. Comparar els resultats amb altres condicions de mesura: amb un pacient normal, simulant ametropies, simulant patologies, i amb enlluernament i sense.

Analitza les funcions i opcions de cada un dels instruments i els resultats

## Mètodes experimentals d'exploració clínica del sistema visual

### PRÀCTICA 3. PERIMETRIA BLANC-BLANC I BLAU-GROC

#### 1. Objectiu

Comparar els camps obtinguts en subjectes normals amb estímuls pensats per a afavorir selectivament els camins parvocel·lular i coniocel·lular

#### 2. Mètode experimental

La campimetria de llindar incremental consisteix en la determinació d'un llindar incremental de luminància sobre un fons, amb estímuls de grandària fixa (normalment, el III del Goldmann), en distints punts del camp visual. Si no es controla la presència de transitoris temporals en l'encesa de l'estímul, la tècnica és poc específica, ja que les deteccions poden estar intervingudes per qualsevol dels dos mecanismes acromàtics, el magnocel·lular o parvocel·lular. Si l'aparició de l'estímul és gradual, la xicoteta grandària de l'estímul afavoreix deteccions per part de la via parvocel·lular. Si mesurem llindars incrementals sobre un fons groc i utilitzant un test blau, els canals acromàtics i el canal cromàtic d'origen parvocel·lular queden relativament insensibilitzats pel fons, de manera que és un mecanisme cromàtic d'origen coniocel·lular el que fa la detecció. Ambdós llindars solen mesurar-se amb un mètode d'escala.

Abans de començar la mesura, cal explorar les opcions del dispositiu, per a determinar com realitzar les accions següents: 1) triar la cromaticitat del test i del fons, 2) triar un mètode de mesura adequat per a poder comparar les sensibilitats dels mecanismes magnocel·lular, parvocel·lular i coniocel·lular.

#### 3. Exercicis

1. Determina el mapa de sensibilitats d'un pacient normal, en l'extensió de camp visual més gran que permeta el dispositiu, i amb estímuls blanc sobre blanc. Descriu el resultat obtingut.
2. Determina el mapa de sensibilitats del mateix pacient, en la mateixa regió del camp visual, però amb estímuls blaus. Descriu el resultat obtingut.
3. Compara els dos camps i analitza les diferències i semblances entre els dos resultats. Era d'esperar aquest resultat? Justifica la resposta.
4. Els resultats s'han presentat en el format de visualització estàndard de tots els campímetres. Descriu el significat de cada un dels elements del full de resultats.
5. Descriu els diferents sistemes de control de qualitat de les mesures del dispositiu. Indica quins avantatges i inconvenients tenen, i quines millores podrien incorporar-se.
6. Prova l'efecte d'un desenfocament induït en la forma del camp. Hi ha algun procediment per a analitzar la presència d'una anomalia?

## Mètodes experimentals d'exploració clínica del sistema visual

### PRÀCTICA 4. PERIMETRIA FDT

#### 1. Objectiu

Introduir l'ús del campímetre FDT.

#### 2. Mètode experimental

El campímetre FDT permet determinar la sensibilitat al contrast en distints punts d'un camp visual fins a 30°, centrat en fòvea, amb estímuls modulats espacialment i temporalment, segons l'expressió

$$Y(x, t) = Y_0(1 + C \sin 2\pi(f_x x) \sin 2\pi(f_t t))$$

on  $Y_0$  és la luminància mitjana del fons on es projecten els estímuls,  $C$  el contrast de l'estímul presentat i  $f_x$  i  $f_t$  les freqüències espacials i temporals, respectivament, de l'estímul. La freqüència espacial és baixa (menor d'1 cp/g) i la temporal alta (major de 12 Hz), per la qual cosa aquests estímuls són detectats per cèl·lules magno. A més a més, l'observador observa el fenomen de "freqüència doble", és a dir, la freqüència espacial de l'estímul, a contrast elevat, es veu com el doble de la freqüència real, amb la qual cosa només un subconjunt de les cèl·lules magno responen a l'estímul: les que tenen un comportament no lineal.

L'observador ha de mirar a l'estímul de fixació foveal al llarg de tota la mesura, i respondre, mitjançant un polsador, a qualsevol canvi que note sobre el fons estacionari. Quan el contrast de l'estímul siga alt, normalment l'observador veurà un patró espacial, que parpelleja, però, a mesura que el contrast baixa, l'observador farà la detecció sense reconeixement del patró espacial. Cal explicar açò amb atenció a l'observador, o les sensibilitats mesurades eixiran anormalment altes. Després de cada detecció, el contrast de l'estímul es modifica, per a mesurar el llindar amb un procediment d'escala amb dos retorns.

Aquest és un perímetre informatitzat, en el qual la major part dels paràmetres de mesura estan fixats des de l'inici. No obstant això, l'experimentador pot configurar fins a un cert punt la sessió de mesura. Abans de començar la pràctica, determineu què és el que es pot configurar per part de l'experimentador, i raoneu en funció del que ha de fer-se.

#### 3. Exercicis

1. Determina el mapa de sensibilitat fins a 30° d'un observador normal emmetrop i amb desenfocaments creixents, de fins a 4D.
2. Descriu la forma del camp de l'observador emmetrop: posició del màxim i velocitat de la caiguda. Quan faces la pràctica de campimetria incremental (pràctica 3), compara els resultats

obtinguts amb aquesta —si no l'has feta, demana els resultats a un company. És el mateix comportament? Era d'esperar aquest resultat? Raona la resposta.

3. Descriu l'efecte del desenfocament en les campimetries realitzades. Quan faces les pràctiques amb els campímetres de llinar incremental —si no l'has feta, demana els resultats a un company, i compara els resultats obtinguts amb aquesta tècnica. És el mateix comportament? Era d'esperar aquest resultat? Raona la resposta.

4. Hi ha procediments en aquest dispositiu per a controlar la qualitat de la mesura? Descriu-los i discuteix la seua eficàcia.

5. Fes que un mateix observador faça la campimetria amb dos criteris diferents: en el primer, l'observador ha de respondre quan veja algun canvi en el camp visual, encara que no reconega el patró espacial. En el segon criteri, ha de respondre només quan siga capaç de reconèixer el patró de barres. Compara ambdues campimetries. Quines conseqüències pot tenir aquest canvi de criteri en el diagnòstic d'un pacient?



## Mètodes experimentals d'exploració clínica del sistema visual

### PRÀCTICA 5. ESTUDI DEL TEST FARNSWORTH-MUNSELL DE 100H

#### 1. Objectiu:

Estudiar l'efecte d'un canvi d'il·luminant en el resultat del Test Farnsworth-Munsell de 100H.

#### 2. Mètode

##### 2.1. Fonament del test utilitzat

Els pacients amb defectes de visió del color, congènits o adquirits, solen mostrar pèrdues en la capacitat de discriminar entre certs colors. Les regions de l'espai de color on les pèrdues de discriminació són majors, depenen dels mecanismes cromàtics afectats. En el cas dels defectes congènits, els errors de discriminació creixen en la direcció de les rectes de confusió dels dicromàtics. En el cas dels defectes adquirits, les pèrdues solen ser generalitzades, perquè estan afectats els dos mecanismes cromàtics oponents (roig-verd i blau-groc), encara que no necessàriament en el mateix grau. Si demanem a un observador que execute una tasca basada en la seua capacitat per a discriminar colors en les distintes regions de l'espai de color, podrem localitzar les regions en les quals s'ha produït una pèrdua de discriminació, i així detectar i possiblement, classificar i avaluar el defecte.



Figura 1

El test Farnsworth-Munsell de 100 tons (FM100H) és un test d'ordenació. Consta de 85 mostres, extreïdes de la versió mat de l'Atles Munsell de Color, totes de Cromàcia 4 i lluminositat 5, distribuïdes de manera aproximadament equidistant en tons (en els blaus, l'espai entre les peces és lleugerament menor que en la resta), que deuen veure's baix l'il·luminant C, amb una radiància de 270 lx. Les mostres es presenten en quatre caixes separades (Figura 1), cadascuna d'elles amb dues peces fixes en els extrems, i un nombre variable de mostres. El procediment que s'ha de seguir amb cada una de les caixes és el mateix: es disposen les mostres que conté la caixa en una superfície convenientment il·luminada i es desordenen; l'observador, que hauria de tenir les mostres a una distància màxima de 50 cm, ha de col·locar al costat de la peça fixa de la caixa aquella que més li sembla de tot el conjunt de mostres de les quals disposa, i repeteix el procés, buscant cada vegada la peça que més s'assembla a l'última col·locada, fins que les pose totes en la caixa ordenades segons el seu criteri. Si troba que hi ha més d'una peça que compleix la condició quan les ha de col·locar, se li indicarà que les col·loque consecutivament, ordenades a l'atzar. Una vegada acabat aquest procés, ha de revisar l'ordenació feta i pot tornar a col·locar qualsevol peça que li sembla que aquesta fora de lloc. Per a executar aquesta tasca, no hi ha límit de temps, encara que si l'observador tarda més d'un minut i mig, és un indicatiu que té problemes per a discriminar entre les peces.

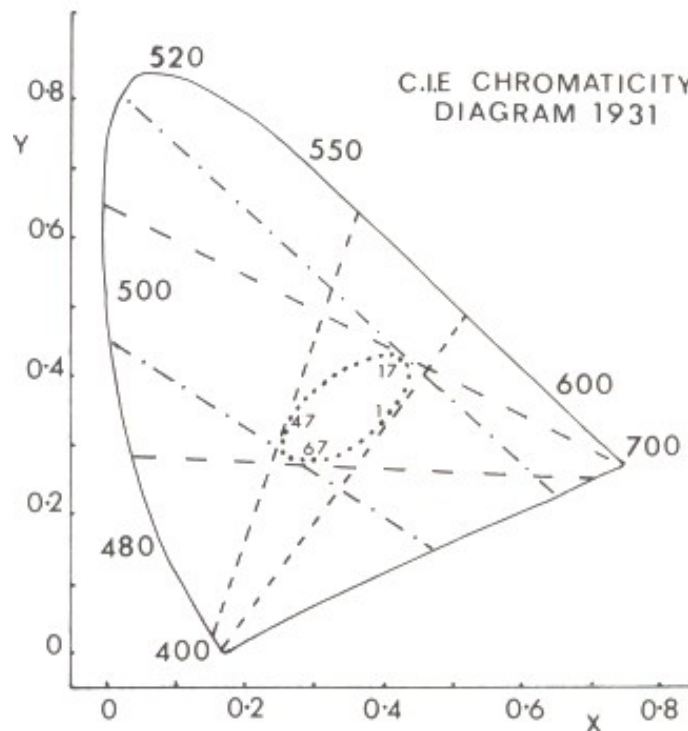


Figura 2

Si es té en compte la figura 2, en la qual es mostren les cromaticitats de les peces del FM100H amb l'il·luminant C, es pot deduir en quines peces trobaran problemes cada un dels tres tipus de dicromàtics, ja que es veu per quines regions del locus de les mostres estan contingudes en alguna de les seues rectes de confusió. Si l'il·luminant utilitzat varia en cromaticitat, la cromaticitat de les mostres variarà, i les regions en les quals intersequen les rectes de confusió també, per la qual cosa les regions en què el pacient fa errades poden desplaçar-se. Si el nivell d'il·luminació és molt baix, també es perd discriminació cromàtica, i el nombre d'errors comens fins i tot per un pacient normal, augmenta. En aquesta pràctica, intentarem veure l'efecte d'un canvi de font d'il·luminació.

## 2.2. Dispositiu

Disposem d'un test FM100H, amb el seu programari de processament de dades, i d'una cabina d'il·luminació Macbeth, que simula l'il·luminant D65 (prou semblant a l'il·luminant C) i l'il·luminant A. En la figura 3, mostrem la radiància espectral normalitzada d'aquests tres il·luminants. El test s'administrarà col·locant les peces en l'interior de la cabina (fa falta un poc d'enginy, ja que les dimensions són reduïdes, però és factible).

Els resultats d'ordenació es processaran amb el programari fet per

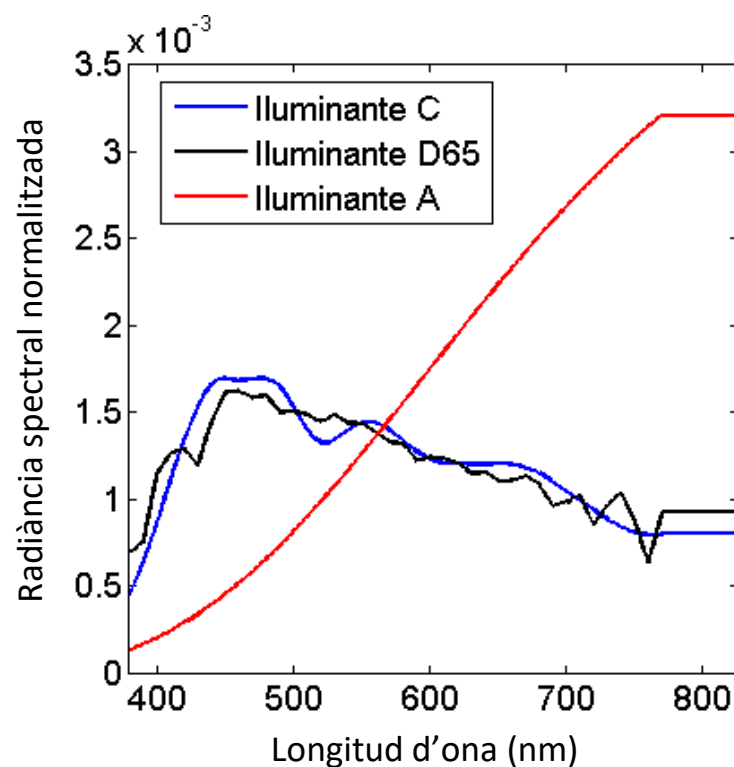


Figura 3

GretagMacbeth, que està instal·lat en un ordinador en l'aula (figures 4 i 5). En la pantalla de «View/Arrange» s'introdueix l'ordenació feta per l'observador, sense fer res més que desplaçar les peces a les posicions adequades, movent-les amb el ratolí. La puntuació total, els diagrames lineals i en polars corresponents, processats addicionals (com la suavització de les corbes) i un possible diagnòstic es mostren polsant el botó «Analysis». Els resultats poden exportar-se com un arxiu PDF.

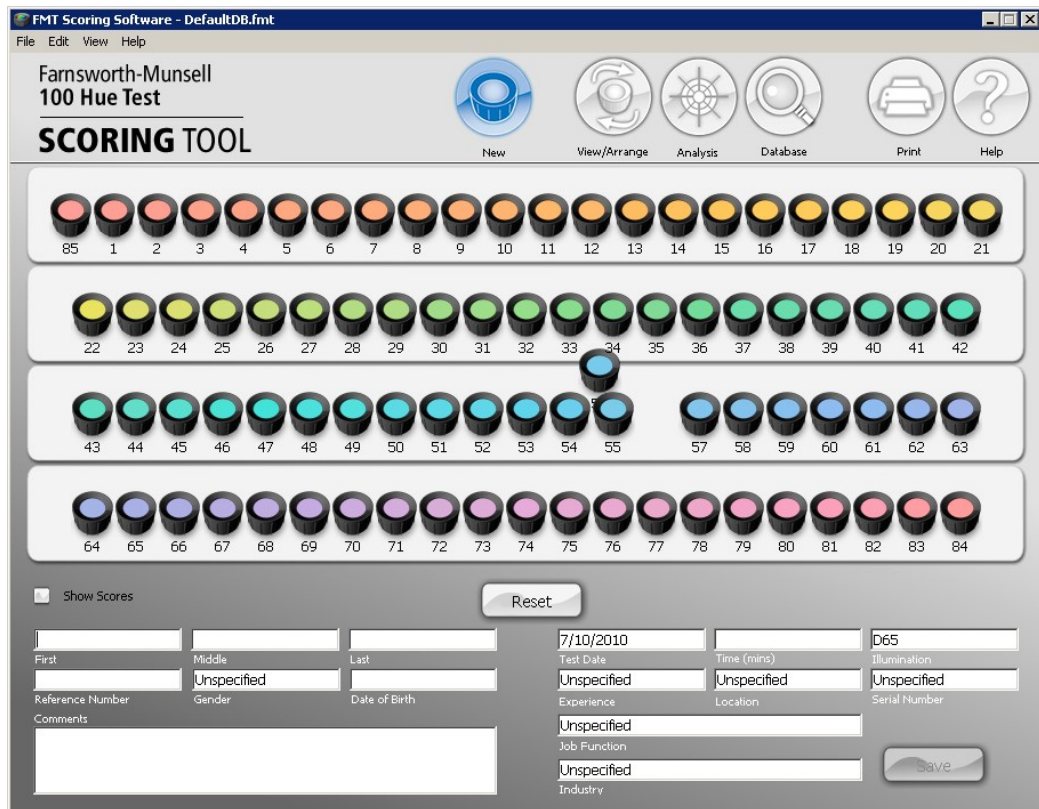
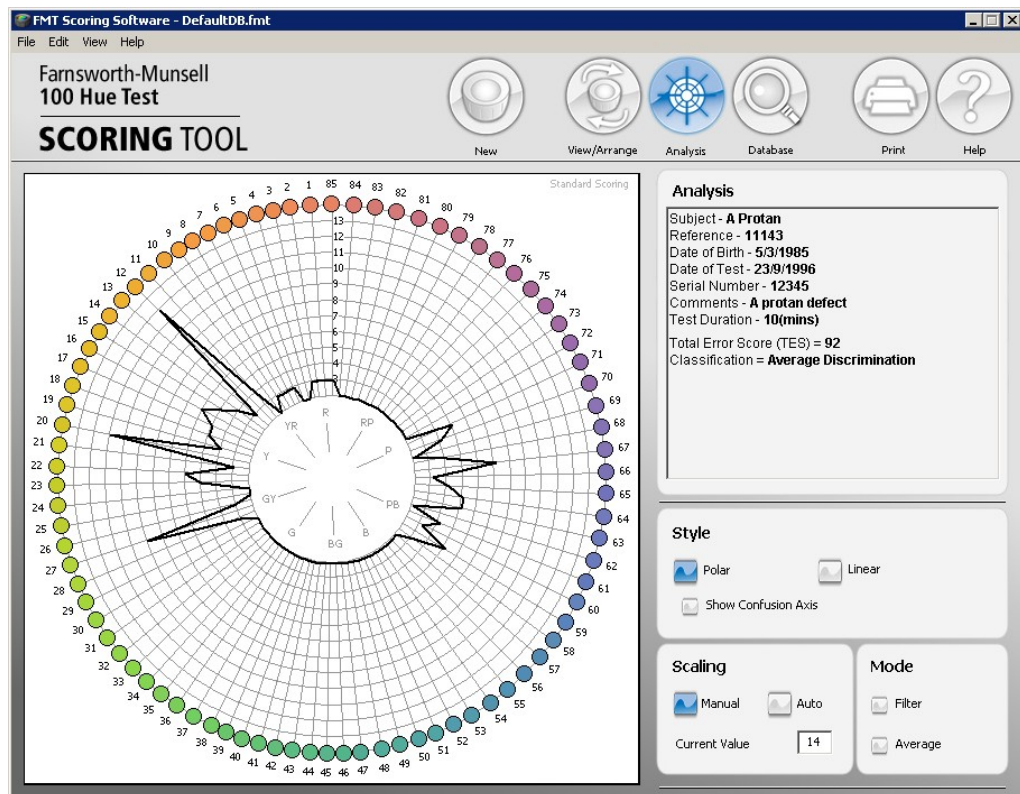


Figura 4



### 3. Exercicis

1. Passa el FM100H a un observador normal amb els dos il·luminants de la cabina Macbeth. Compara els resultats.

Simula un observador amb visió del color alterada, emprant filtres de color. Passa el FM100H

amb les dues il·luminacions. Compara els resultats obtinguts. Afecta el canvi?

## Mètodes experimentals d'exploració clínica del sistema visual

### PRÀCTICA 6. L'ÚS DE L'ANOMALOSCOPI

#### 1. Objectiu:

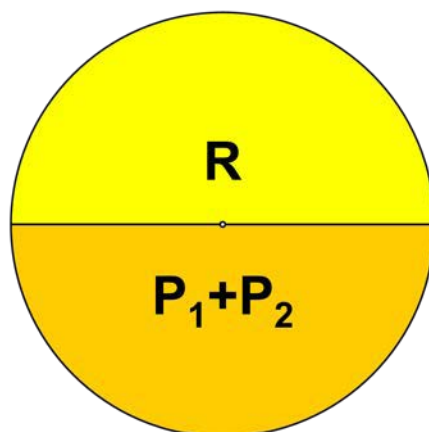
Conèixer i comprendre els protocols de mesura possibles amb un anomaloscopi.

#### 2. Mètode

##### 2.1. Fonament del dispositiu



Per a detectar una dicromàsia, podem proposar a l'observador la tasca d'igualar un cert color de referència, R, mitjançant la mescla de dos colors, P1 i P2, que anomenarem primaris, sempre que es verifiquen les condicions següents: 1) R ha de ser un metàmer d'alguna mescla de P1 i P2 per als observadors normals, 2) R, P1 i P2 han d'estar en la recta de confusió del tipus de dicromàtic que volem detectar i 3) les dimensions del camp d'igualació no han d'excedir les de la fòvea, per a impedir la intrusió dels bastons. L'operació de determinar les proporcions de cada un dels primaris que igualen al color de referència, quan aquest té una certa luminància, és anàloga a la de resoldre una equació, per la qual cosa la terna de colors R, P1 i P2 defineixen el que s'anomena «l'equació del colorímetre». Amb les condicions imposades, els observadors normals trobaran una única proporció de P1 i P2 que iguale el to de R, i només els caldrà ajustar la luminància de R per a obtenir una igualació perfecta,



Figur  
a 1

amb la qual cosa l'equació de l'anomaloscopi té una solució única. Un dicromàtic per al qual R, P1 i P2 pertanyen a la mateixa recta de confusió, trobarà que, per a qualsevol proporció dels primaris, obté una igualació perfecta amb la referència, sense fer res més que modificar la luminància d'aquesta última, amb la qual cosa l'equació de l'anomaloscopi per a ell té infinites solucions. Un anòmal del mateix tipus trobarà un rang de proporcions dels primaris igualables amb la referència R, que pot contenir o no a la solució trobada pels observadors normals. Per tant, la forma en què el pacient resol

l'equació de l'anomaloscopi serveix per a classificar i graduar el seu defecte de visió de color.

Amb la finalitat de millorar la capacitat de diferenciar entre dicromàtics i anòmals greus, és convenient que el rang d'igualació del dispositiu siga el més ample possible, per la qual cosa normalment s'utilitzen estímuls monocromàtics o de banda molt estreta. L'observació continuada d'aquests estímuls, normalment d'alta luminància, satura ràpidament els canals cromàtics dels pacients, fet que ha donat lloc a dos tipus de tècniques de mesura: *a*) la «no sintonitzada»; o amb adaptació neutra (Neutralstimmung), en la qual, a intervals regulars, el camp pintat és substituït per un acromàtic per a dessaturar als canals cromàtics, i *b*) la «sintonitzada» (Umstimmung), en la qual l'observador s'adapta a la igualació que haja fet abans de determinar cada nou punt del seu interval d'igualació. Aquesta segona tècnica normalment eixampla els intervals d'igualació dels anòmals extrems i en alguns anòmals simples, i té poc efecte en els observadors normals.

Els anomaloscopis disposen de dos controls: un dels controls modifica la luminància de l'estímul de referència, i l'altre, la proporció entre els primaris. Quan aquest segon control aquesta en un dels extrems de l'escala, es genera un únic primari, i en les posicions intermèdies augmenta la quantitat d'un primari i disminueix la de l'altre. Per a cada observador, s'ha de determinar en quin interval de l'escala que controla la relació entre els primaris, l'observador pot produir un metàmer modificant la luminància del color de referència. La localització i amplitud de l'interval, i el rang de luminàncies d'igualació, serveix per a caracteritzar el pacient.

## 2.2. L'anomaloscopi Oculus

Aquest anomaloscopi consta de dues equacions: la de Rayleigh, per a la detecció de defectes roig-verd (Fig 2 (esquerra), i la de Moreland (Fig.2 dreta), per a la detecció de defectes de tipus tritan i defectes adquirits blau-groc.

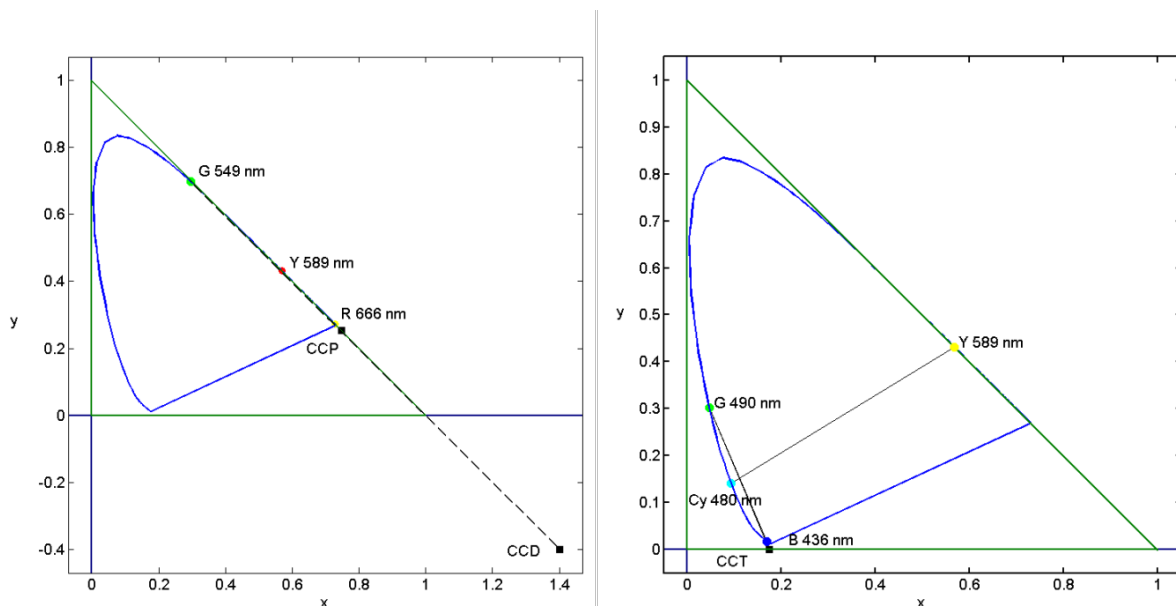


Figura 2

Per a l'equació de Rayleigh, es disposa d'una escala que controla la proporció dels primaris roig i verd (identificada com a «Color Mix», en la figura 3), que va de 0 (només verd) a 73 (només roig). La luminància de la referència groga es controla amb una escala que va de 0 (negre) a 45 (luminància màxima). La mitja d'igualació per als observadors normals és de 40 (mescla) /15 (referència) (40/15 per a abreviar). La figura 3 (esquerra) mostra la regió en què igualen els observadors normals, els dicromàtics i els anòmals roig-verd. Per a l'equació de Moreland, tant l'escala que controla la proporció de mescla de primaris blau i verd com la luminància de l'estímul de referència (una mescla fixa de cian i groc) van entre 0 i 100, i el punt mitjà d'igualació dels normals és 50/50. De nou, en la figura 3 (dreta) es mostren els rangs d'igualació per als diferents tipus de defectes, tant congènits com adquirits (degeneració en el canal blau-groc, com la diabetis i el glaucoma).

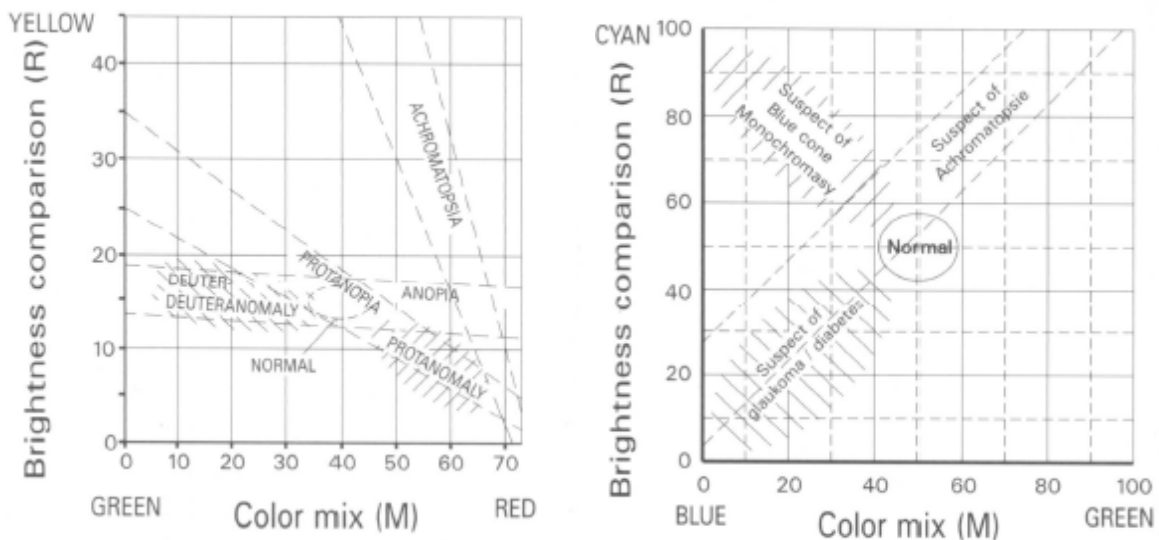


Figura 3

### 2.3. Procediment de mesura

L'experimentador presenta una proporció dels primaris a l'observador i li permet que modifiqui la lluminositat del camp de referència, intentant aconseguir una igualació perfecta. Si ho aconsegueix, marca el botó '=' de l'anomaloscopi; si no, el botó '≠'. L'objectiu és determinar el rang en el qual l'observador pot realitzar una igualació perfecta. Per a determinar aquest rang, sol utilitzar-se alguna variant dels mètodes de cerca binària.

El dispositiu ofereix certes rutines predissenyades de cerca d'aquest interval: de detecció (*screening*) i d'específiques. Vegeu el manual adjunt per a més detalls.

### 3. Exercicis

1. Determina l'interval d'igualació d'un pacient normal amb el procediment manual. Abans de cada igualació de l'observador, desplaça la proporció roig-verd o blau-groc a una posició lleugerament distinta.
2. Determina, emprant les tècniques de detecció específiques per a anòmals i dicromàtics, l'interval d'igualació d'un pacient a qui se li indueix una anomalia mitjançant un filtre de color.



Es detecta l'anomalia amb ambdues equacions? En què es tradueix aquesta anomalia (desplaçament del rang, eixamplament del rang, variació de la lluminositat percebuda...)? S'assembla l'anomalia creada a algun dels tipus identificables amb l'anomaloscopi?

## Mètodes experimentals d'exploració clínica del sistema visual

### PRÀCTICA 7. MESURA DEL LLINDAR CROMÀTIC AL VOLTANT D'UN BLANC, AMB UNA TASCA DE RECOXEIEMENT DE FORMES

#### 1. Objectiu

Introduïm la tècnica de mesura de llindars cromàtics al voltant d'un blanc, obtinguts amb una tasca de reconeixement de formes en una aplicació per a l'ordinador. Estudiarem quins factors poden afectar aquesta mesura.

#### 2. Mètode

##### 2.1. Fonament del test utilitzat

Els pacients amb defectes adquirits de la visió del color solen mostrar una reducció de sensibilitat en els canals oponents. En la majoria dels casos, el dany comença pel canal blau-groc, encara que en les etapes més avançades de la patologia sol estar afectat també el canal roig-verd. Els defectes congènits de la visió del color solen ser deguts a errades en la resposta dels fotodetectors, però a conseqüència d'aquestes errades, també es veu alterada la sensibilitat dels mecanismes oponents roig-verd i blau-groc, encara que en aquest cas les alteracions en el primer d'aquests mecanismes són les més freqüents.<sup>1</sup>

Per tant, la mesura de llindars de discriminació al llarg de les direccions roig-verd i blau-groc seria un possible mètode que permetria detectar, classificar i graduar els defectes dels canals cromàtics. Plantejarem un experiment en el qual mesurarem un llindar cromàtic al llarg de diferents direccions d'un pla  $A=\text{constant}$  (vegeu la figura 1), emprant el model ATD de De Valois i De Valois<sup>4</sup>.

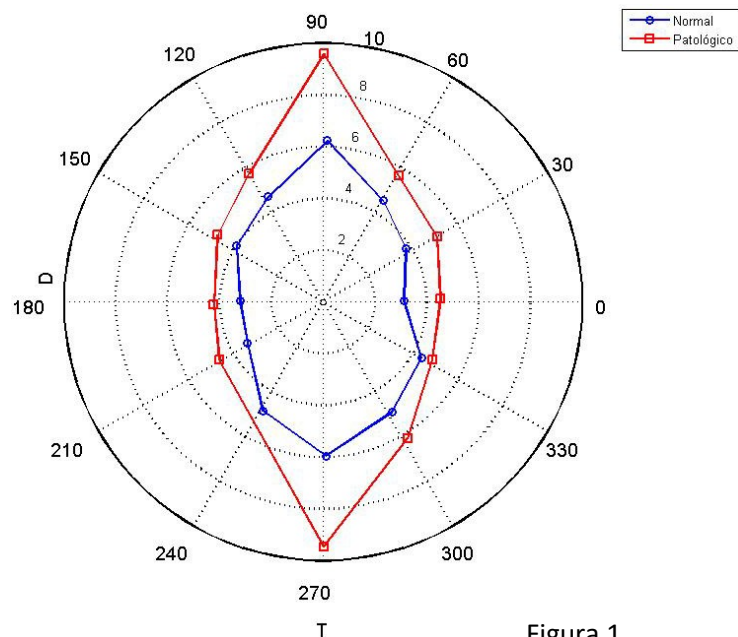
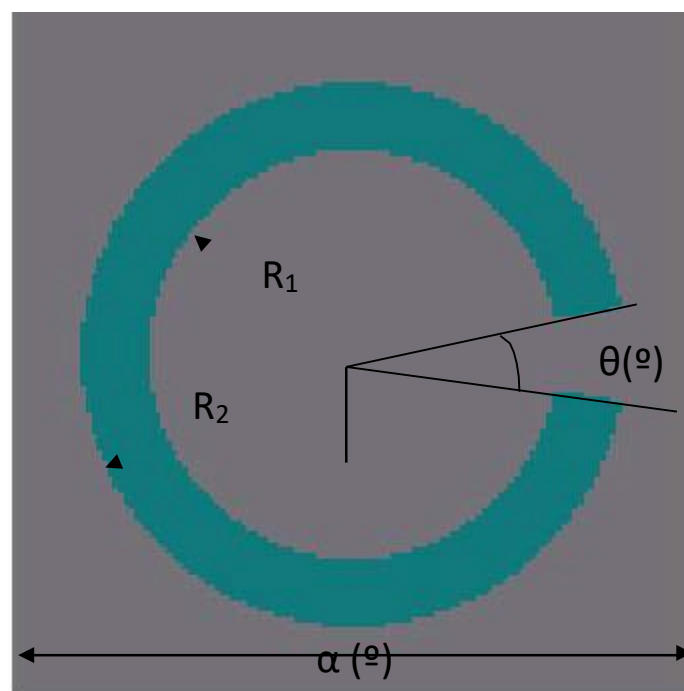


Figura 1

## 2.2. Característiques dels estímuls

Presentarem al pacient una C de Landolt, d'un cert color CT, que l'observador fixarà amb la fòvea, sobre un fons, de color CF. Els paràmetres que controlen la grandària de la imatge es mostren en la figura 2. El test és semblant al Cambridge Color Test, desenvolupat per Mollon i col·laboradors.<sup>2,3</sup>

En un diagrama  $\Delta T = T_T - T_F$ ,  $\Delta D = D_T - D_F$ , triarem el test al llarg de  $N_{dir}$  rectes que passen per l'origen. Per defecte,  $N_{dir} = 8$ . El fons serà el blanc del monitor, amb una luminància Y determinada.



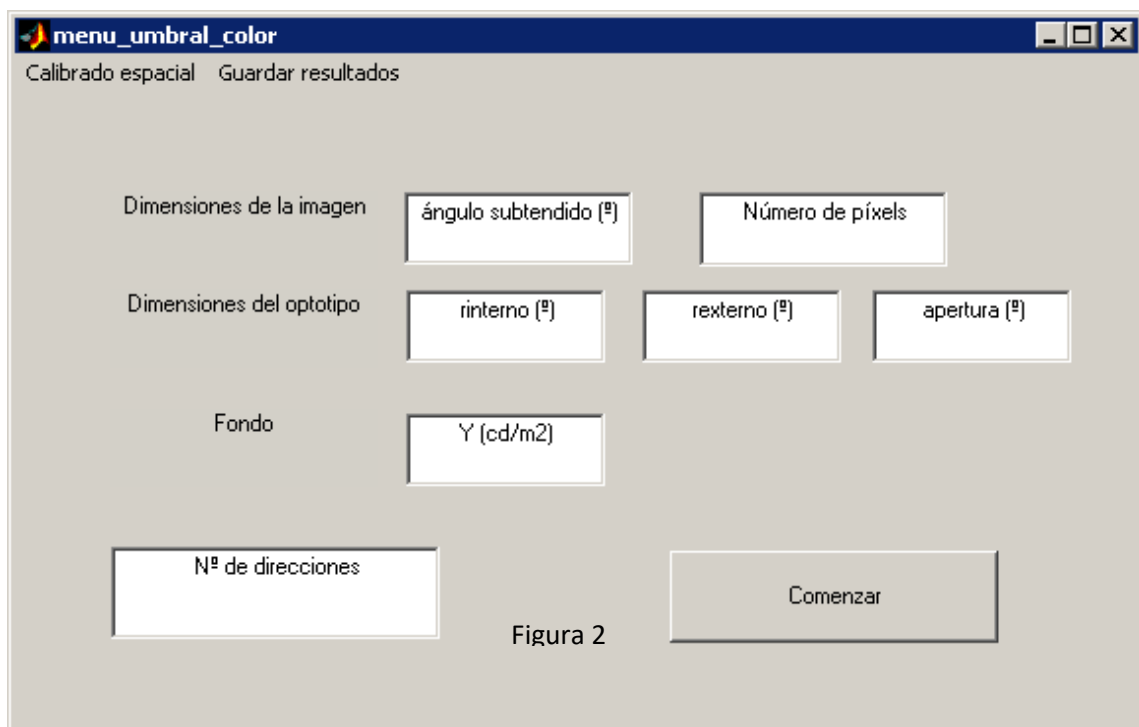
$R_1$ ,  $R_2$  y  $\alpha$  són angles (en graus), mesurats des de l'ull de l'observador.  $\theta$  és mesurat des del centre de la imatge. Per a evitar que els pacients amb anomalies congènites donen un resultat més paregut a la normalitat, la grandària total de la lletra no hauria d'excedir els  $2^\circ$ . En el cas d'observadors amb defectes adquirits, una grandària reduïda també és aconsellable, per a intentar que la tasca el faça en una regió de detectors on el dany produït siga el més homogeni possible. Per a evitar que l'observador pugui fer la tasca gràcies a pistes o claus de luminància, introduïrem un senyal aleatori en el canal acromàtic, tant en el fons com en el test.

### 2.3. Tasca per a l'observador i mètode emprat

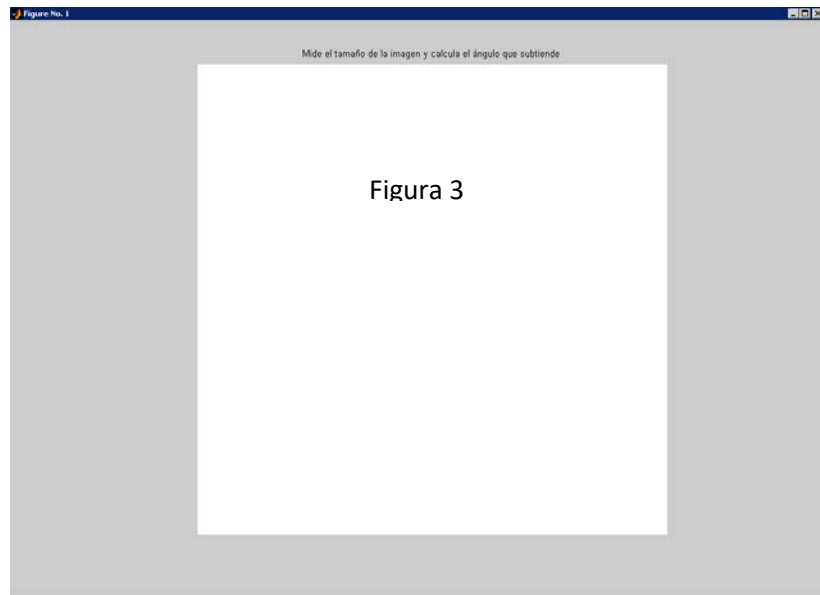
Ja que volem determinar el llindar que permet a fer una tasca de reconeixement, el pacient haurà d'identificar correctament algun tret rellevant de l'optotip, que en el nostre cas serà la posició de l'obertura. Emprant el mètode MOBS (Modified Binary Search),<sup>5</sup> determinarem la mínima distància en l'espai ATD entre el fons i la lletra, que permet executar amb èxit la tasca demandada a l'observador.

### 3. Fonament del dispositiu

Farem ús de l'aplicació MUC a l'ordinador. S'obrirà aquesta finestra i podrem introduir els valors dels paràmetres que defineixen el test. Les dimensions de l'optotip han de ser de  $R1=0,7^\circ$ ,  $R2=0,9^\circ$   $\theta=10^\circ$ , el nombre de píxels de 256, la luminància del fons de  $20 \text{ cd/m}^2$  i el nombre de direccions explorades, 8. L'angle total de l'escena que es mostrarà a l'observador, ha de determinar-se experimentalment.

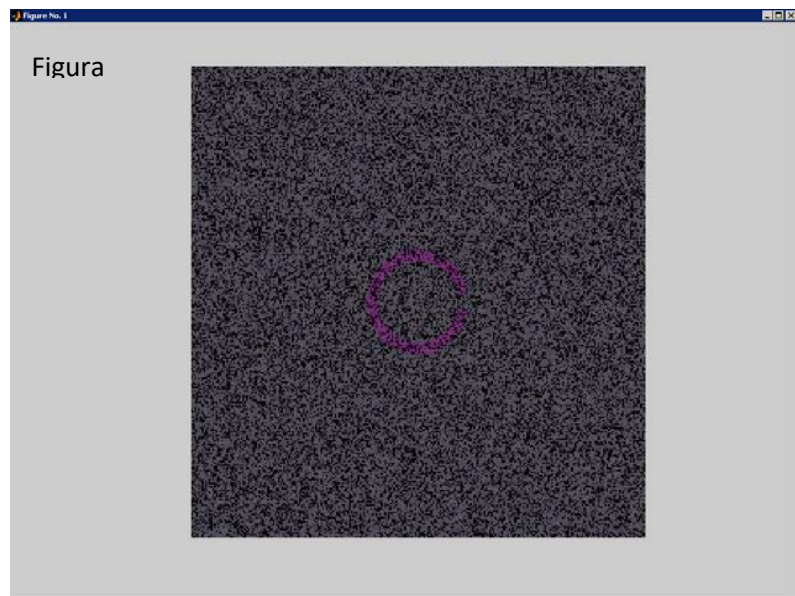


Per a determinar el valor de l'angle  $\alpha$  subtendit per l'escena, es fixarà la distància d'observació, amb del menú 'Calibratge espacial' es generarà un estímul amb la grandària amb la qual apareixeran en l'experiment (figura 3). Determinant la grandària de la imatge, l'usuari procedirà a calcular l'angle  $\alpha$  subtendit per l'escena, i a introduir-lo en el menú.

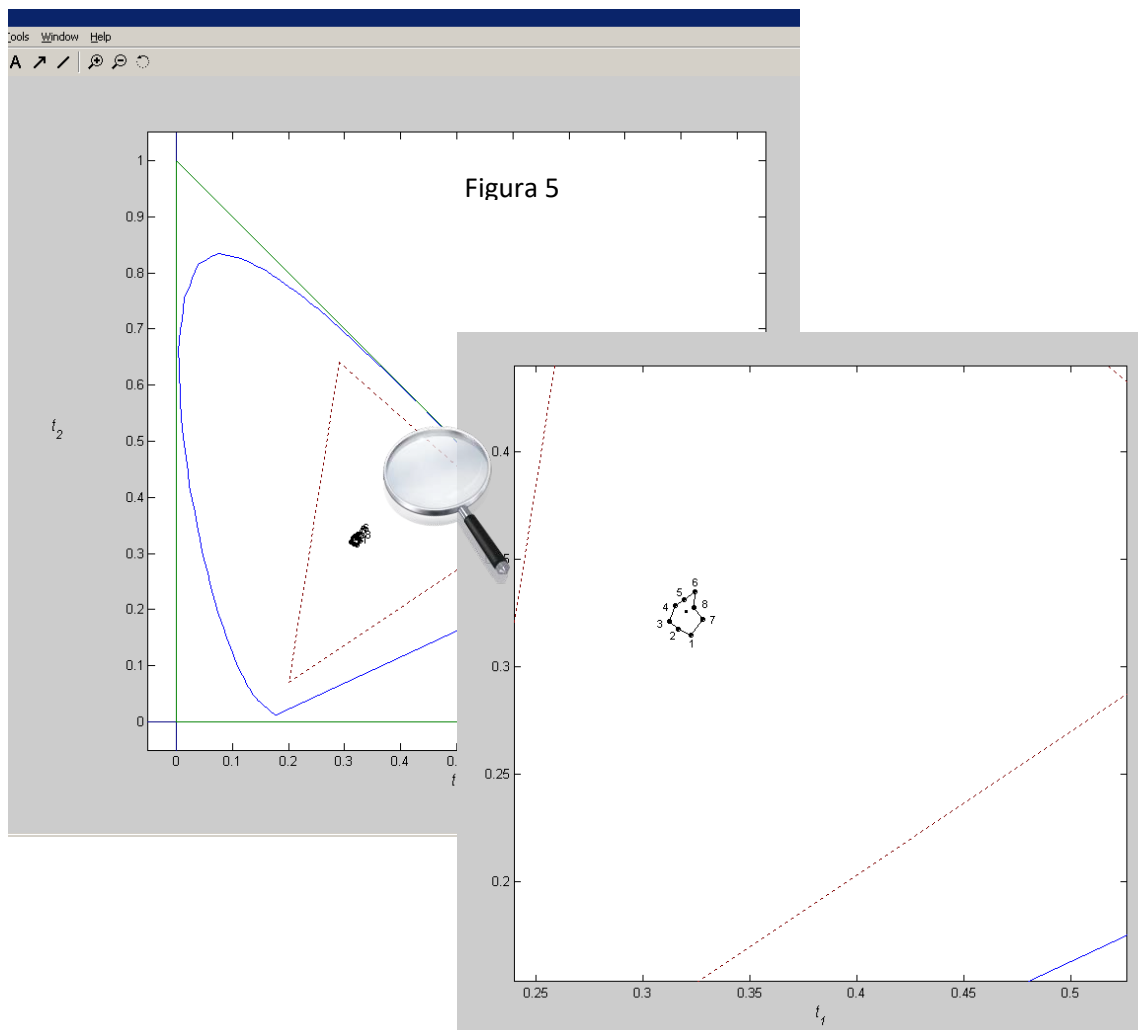


Tanqueu la figura generada pel programa en acabar aquest càlcul.

En pulsar el botó 'Començar' del menú, començarà el test. El programa presentarà aleatòriament tests al llarg de cada una de les 8 direccions del pla 'TD' triades, i utilitzant el mètode MOBS determinarà el llindar en cada una de les direccions. El pacient ha d'indicar la posició de l'obertura de la lletra, utilitzant els números 8, 2, 4 i 6 del teclat numèric de l'ordinador, segons veja l'obertura dalt, baix, a l'esquerra o la dreta. Si el



pacient no detecta l'obertura, pot respondre pulsant el número 5. El programa determina si el pacient ha encertat o no la posició de l'obertura, i tria quin és l'estímul següent a presentar en funció de les respostes de l'observador. En acabar el procés de mesura, el programa presenta els resultats obtinguts, representats en un diagrama cromàtic CIE1931, com en la figura 5.



Els valors triestímuls dels estímuls l·lindars es poden desar en un fitxer, amb l'opció 'Desa resultats' de la barra d'eines del menú principal del programa.

#### 4. Exercicis

1. Determina els l·lindars de discriminació respecte al blanc, amb la tasca de detecció descrita en aquest guió, de dos observadors amb visió de color normal. Representa els resultats obtinguts en el diagrama cromàtic CIEXYZ i en l'espai de contrast de cons. Descriu els resultats obtinguts en cada cas. Hi ha alguna característica comuna als dos subjectes?
2. Usant filtres de colors, simula un observador amb visió del color variant i mesura els seus l·lindars amb el procediment descrit. Representa els resultats en els mateixos espais que es van utilitzar en l'exercici anterior, descriu-los i compara'ls amb els dels observadors normals.
3. Estudia com és de sensible aquesta tècnica de mesura al desenfocament, determinant quant canvia la sensibilitat de l'observador amb desenfocaments d'1D i 2D.

#### 4. Referències

1. Birch J., Defective Color Vision, Elsevier 2003.

2. Regan B.C., Reffin J.P., & Mollon J.D. (1994). Luminance Noise and the Rapid Determination of Discrimination Ellipses in Colour Deficiency. *Vision Research*, Vol. 34, No.10, pp.1279-1299.
3. Ventura, D. F., Silveira, L. C. L., Rodrigues, A. R., de Souza, J. M., Gualtieri, M., Bonci, D., & Costa, M. F. "Preliminary norms for the Cambridge Colour Test". In "Normal and Defective Colour Vision", edited by Mollon, Pokorny & Knoblauch.
4. De Valois RL, De Valois KK (1993), A multi-stage color model, *Vision Research*, 33-8, pp 1053-1065.
5. Anderson AJ, Johnson CA (2006), Comparison of the ASA, MOBS, and ZEST threshold methods, *Vision Research* 46, 2403–2411

## Apèndix. L'espai de contrast de cons

Assumint 1) que els centres de confusió dels dicromàtics en l'espai XYZ ens proporcionen les coordenades (x,y) dels primaris de l'espai de cons LMS i 2) que L i M sumen la luminància, podem calcular la matriu de transformació entre valors triestímul XYZ i valors LMS, amb l'equació següent:

$$\begin{pmatrix} L \\ M \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.15516 & 0.54308 & -0.03287 \\ -0.15516 & 0.45692 & 0.03287 \\ 0 & 0 & k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

on k és una constant lliure. Les sensibilitats espectrals dels cons, calculades amb aquesta matriu, són els anomenats «fonamentals de Smith i Pokorny». Si imposem que les cèl·lules blaves del LGN han de tenir un punt neutre en el 498 nm, s'obté que k=1.0066. L'espai de contrast de cons és el constituït pels tres descriptors següents:

$$(C_L \quad C_M \quad C_S) = \left( \frac{\Delta L}{L_0} \quad \frac{\Delta M}{M_0} \quad \frac{\Delta S}{S_0} \right)$$

sent  $L_0$ ,  $M_0$  i  $S_0$  els valors del fons o de l'adaptador, i  $\Delta L$ ,  $\Delta M$  i  $\Delta S$  l'increment que produïm respecte a aquest fons.

En aquest espai, quins vectors descriuen una direcció de l'espai de color en què només responga un mecanisme roig-verd? I un mecanisme blau-groc? Pista: la primera condició per a aïllar un mecanisme cromàtic, és que l'acromàtic no responga. El mecanisme acromàtic combina additivament la resposta dels cons L i M.

### Esquema del full de resultats

Llindars dels observadors normals representats al diagrama cromàtic CIE1931	Descripció del resultat
Llindars dels observadors normals representats a l'espai de cons	Descripció del resultat
Comparació dels llindars d'un observador normal i un anòmal (filtre) a l'espai CIE1931	Descripció del resultat
Comparació dels llindars d'un observador normal i un anòmal (filtre) a l'espai de cons	Descripció del resultat

<b>Comparació dels llindars d'un observador normal emmetrop i amb desenfocament d'1D (CIE1931)</b>	<b>Descripció del resultat</b>
<b>Comparació dels llindars d'un observador normal emmetrop i amb desenfocament de 2D (opcional) (CIE1931)</b>	<b>Descripció del resultat</b>