



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa



MÀSTER EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

TREBALL FINAL DE MÀSTER

**EFFECTE DEL CONTRAST I EL COLOR DE FONTS EN ELS
MOVIMENTS OCULARS I LA RESPOSTA ACOMODATIVA
DURANT LA LECTURA**

Ainhoa de Castellarnau Roca

ROSA BORRÀS GARCIA
ELVIRA PERIS MARCH
JOAN CARLES ONDATEGUI
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

JUNY 2016

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any (2015). Tots els drets reservats



MÀSTER EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

La Sra. María Rosa Borràs García, com a directora del treball i la Sra. María Elvira Peris March i el Sr. Joan Carles Ondategui com a codirectors del treball

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Ainhoa De Castellarnau Roca ha realitzat sota la seva supervisió el treball EFECTE DEL CONTRAST I EL COLOR DE FONDS EN ELS MOVIMENTS OCULARS I EN LA RESPOSTA ACOMODATIVA DURANT LA LECTURA que es recull en aquesta memòria per optar al títol de Màster d'Optometria i Ciències de la visió.

I per que consti, signen aquest certificat.

Sra. María Rosa Borràs García
Directora del treball

Sra. María Elvira Peris March
Directora del treball

Sr. Joan Carles Ondategui
Director del treball

Terrassa, 1 de juny de 2016



Agraïments

Vull agrair la col·laboració de totes aquelles persones i institucions que han fet possible la realització d'aquest treball.

En primer lloc, agrair l'aportació en el treball als meus tutors, Rosa Borràs, Elvira Peris i Joan Carles Ondategui per presentar-me un tema tan interessant i poc investigat com aquest, per l'exigència, el constant suport, l'orientació i la confiança al llarg de l'elaboració del treball.

Als meus companys de Màster, per l'any que hem passat junts.

A la meva família pel seu suport incondicional i continu.

A les meves companyes Anna León, Lúdia Mullor i Helena Blanch, sense elles aquest treball no hagués estat el mateix.

I per últim, i no menys importants al Xus per no perdre mai els nervis i per les llargues hores de feina junts que gràcies a ell s'han fet una mica més fàcils. I a l'Arnau pels seus "valuosos" consells i suggeriments.

A tots ells:

Moltes gràcies

Ainhoa de Castellarnau Roca



MÀSTER EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

EFFECTE DEL CONTRAST I EL COLOR DE FONTS EN ELS MOVIMENTS OCULARS I LA RESPOSTA ACOMODATIVA DURANT LA LECTURA

Objectiu: estudiar l'efecte del contrast i del color de fons en els moviments oculars i en la resposta acomodativa durant la lectura.

Mètode: S'avaluen un total de 25 subjectes per estudiar la motilitat ocular i un total de 20 subjectes per avaluar la resposta acomodativa. La motilitat s'avaluà mitjançant un eye tracker (Eye link 1000 plus) i la resposta acomodativa mitjançant un auto-refractometre de camp obert (WAM 5500). S'utilitza un total de 7 textos amb diferents condicions de contrast (alt, mig, baix i invertit) i de color de fons (blanc, blau i groc).

Resultats: Quan es modifica el contrast apareixen diferències estadísticament significatives en l'amplitud de les fixacions ($p < 0,01$) que disminueixi en condicions de contrast mig, baix i invertit i una tendència a augmentar la duració dels sacàdics en condicions de contrast invertit ($p = 0,058$). Quan es modifica el color de fons també es veu alterada la motilitat ocular en l'amplitud de les fixacions que disminueix tant en fons groc com blau ($p < 0,01$), el número de sacàdics que augmenta tant amb tel fons groc com blau ($p < 0,01$), la duració ($p < 0,01$) i l'amplitud ($p < 0,01$) dels sacàdics augmenta en el fons blau mentre que la seva velocitat disminueix i, finalment, la freqüència dels sacàdics per segon en fons groc augmenta ($p < 0,01$).

En canvi no s'han trobat diferències estadísticament significatives entre la resposta acomodativa i l'ús de textos de diferents contrast ni amb canvis en el color del fons.

Conclusions: Les característiques del text, contrast i del color de fons, durant la lectura influeixen en diversos paràmetres de la motilitat ocular fent que aquests moviments siguin menys precisos. Aquest efecte és màxim en condicions de contrast invertit i en condicions de fons blau. Aquestes condicions, en canvi, no afecten a la resposta acomodativa durant la lectura.

RESUM



MÀSTER EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

EFECTO DEL CONTRASTE Y EL COLOR DE FONDO EN LOS MOVIMIENTOS OCULARES Y LA RESPUESTA ACOMODATIVA DURANTE LA LECTURA

Objetivo: estudiar el efecto del contraste y del color de fondo en los movimientos oculares y en la respuesta acomodativa durante la lectura.

Método: Se evaluaron un total de 25 sujetos para estudiar la motilidad ocular y un total de 20 sujetos para estudiar la respuesta acomodativa. La motilidad se evalúa mediante un eye tracker (Eye link 1000 plus) y la respuesta acomodativa mediante un auto-refractómetro (WAM 5500). Se utiliza un total de 7 textos con distintas condiciones de contraste (alto, medio, bajo e invertido) y de color de fondo (blanco, azul y amarillo).

Resultados: Cuando se modifica el contraste aparecen diferencias estadísticamente significativas en la amplitud de las fijaciones ($p < 0,01$) que disminuye en condiciones de contraste medio, bajo e invertido, y una tendencia a aumentar la duración de los sacádicos en condiciones de contraste invertido ($p = 0,058$). Cuando se modifica el color de fondo la motilidad ocular también se ve afectada en la amplitud de las fijaciones tanto en azul como amarillo ($p < 0,01$), en el número de sacádicos que aumenta tanto en fondo azul como amarillo ($p < 0,01$), en la duración y amplitud de los sacádicos que aumentan con el fondo azul mientras su velocidad disminuye y finalmente la frecuencia de los sacádicos por segundo ($p < 0,01$) aumenta con el fondo amarillo.

En cambio no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre la respuesta acomodativa y el efecto del contraste y el color de fondo.

Conclusiones: Las características del texto, contraste y color de fondo durante la lectura influyen en diversos parámetros de la motilidad ocular haciendo que estos movimientos sean menos precisos. Este efecto es máximo en condiciones de contraste invertido y de fondo azul. Estas condiciones, en cambio, no afectan a la respuesta acomodativa durante la lectura.

RESUMEN



MÀSTER EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

EFFECT OF CONTRAST AND BACKGROUND COLOUR IN THE EYE MOVEMENTS AND ACCOMODATIVE RESPONSE DURING READING

Purpose: To study the effect of contrast and background colour in the eye movements and accommodative response during reading.

Methods: A total of 25 subjects were evaluated to study ocular motility and a total of 20 subjects to study the accommodative response. Motility were evaluated by an eye tracker (Eye link 1000 plus) and the accommodative response through an auto-refractometer (WAM 5500). A total of seven tests with different contrast conditions (high, medium, low and inverted) and background colour (white, blue and yellow) was used.

Results: When the contrast changes, appears a statistically significant differences in the extent of fixations ($p < 0,01$) which decreases in terms of medium contrast, low and inverted, and a tendency to increase the duration of the saccadic movements in inverted contrast conditions ($p = 0,058$). When the background colour changes it also effects the ocular motility, the extend of fixations ($p < 0,01$), the number of saccadic movements, which increases in the blue and the yellow background, the duration and amplitude of the saccadic movements, which increase with the blue background while his speed decreases and finally the saccadic movements frequency per second ($p < 0,01$) increases with the yellow background.

On the other hand, no statistically significant differences has been found in the accommodative response and the effect of contrast and background colour.

Conclusions: The characteristics of the text, contrast and background colour while reading influenced various parameters in ocular motility, making these movements less accurate. This effect is maximal in conditions of inverted contrast and blue background. Instead, these characteristics not affect the accommodative response during reading.

ABSTRACT



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any (2015). Tots els drets reservats

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....	1
2. MOVIMENTS OCULARS.....	2
2.1 Generalitats.....	2
2.1.1 Músculs extrínsecs del globus ocular.....	2
2.1.2 Classificació dels moviments oculars.....	3
2.2 Fixacions.....	4
2.2.1 Característiques de les fixacions.....	4
2.2.2 Contribució de les fixacions en la lectura.....	5
2.3 Moviments sacàdics.....	5
2.3.1 Característiques dels moviments sacàdics.....	5
2.3.2 Contribució dels moviments sacàdics en la lectura.....	7
2.4 Regressions.....	7
2.4.1 Característiques de les regressions.....	7
2.4.2 Contribució de les regressions en la lectura.....	7
2.5 Moviments oculars durant la lectura.....	8
2.6 Avaluació dels moviments oculars durant la lectura.....	9
3. ACOMODACIÓ.....	10
3.1 Introducció.....	10
3.1.1 Amplitud d'acomodació (AA).....	10
3.1.2 Flexibilitat d'acomodació.....	11
3.2 Retard acomodatiu.....	11
3.3 Mètodes de mesura del Retard acomodatiu.....	11
3.3.1 Retinoscòpia de NOTT.....	12
3.3.2 Retinoscòpia de mètode d'estimulació monocular/MEM... ..	12
3.3.3 Retinoscòpia de Bell.....	12
3.3.4 Refràctometres automàtics.....	13

3.4 Factors que influeixen en les microfluctuacions de l'acomodació....	14
3.4.1 Luminància del estímul.....	14
3.4.2 Tamany pupil·lar.....	14
3.4.3 Contrast de l'estímul.....	14
3.5 Anomalies de l'acomadació.....	15
4. FACTORS QUE AFECTEN A LA LECTURA.....	16
4.1 Lectura.....	16
4.2 Contrast.....	16
4.3 Color.....	17
4.3.1 Blanc i negre.....	18
4.3.2 Groc i negre.....	18
4.3.3 Text multicolor.....	18
4.4 Il·luminació.....	18
4.5 Tamany estímul.....	18
4.6 Paper i pantalles.....	19
5. OBJECTIUS.....	20
6. INSTRUMENTACIÓ.....	21
6.1 Material necessari pel registre de moviments oculars.....	21
6.2 Material necessari per l'avaluació del retard acomodatiu.....	22
7. METODOLOGIA	
7.1 Consideracions ètiques.....	23
7.2 Selecció de la mostra.....	23
7.2.1 Material necessari per la selecció de la mostra i preparació de les proves.....	23
7.2.2 Criteris d'inclusió i exclusió.....	24
7.3 Disseny de l'estudi.....	24
7.4 Disseny de les proves.....	24

7.4.1 Característiques dels tests.....	25
7.5 Protocols de mesura.....	26
7.5.1 Eye – tracker.....	26
7.5.2 Retard acomodatiu.....	28
8. OBTENCIÓ I INTERPRETACIÓ DE REGISTRES.....	30
8.1 Obtenció de resultats.....	30
8.2 Caracterització dels moviments oculars en la lectura.....	31
8.2.1 Caracterització del text total.....	31
8.2.2 Caracterització de les fixacions.....	31
8.2.3 Caracterització dels moviments sacàdics.....	31
8.3 Tractament de les dades.....	32
8.3.1 Selecció dels paràmetres a analitzar.....	32
8.3.2 Selecció de les dades de les fixacions.....	32
8.3.3 Selecció de les dades dels moviments oculars.....	33
9. RESULTATS.....	34
9.1 Tractament de dades.....	34
9.2 Motilitat ocular.....	34
9.2.1 Descripció de la mostra.....	34
9.2.2 Anàlisi dels resultats.....	35
9.3 Retard acomodatiu.....	46
9.3.1 Descripció de la mostra.....	46
9.3.2 Anàlisi dels resultats.....	47
10. DISCUSSIÓ.....	49
10.1 Discussió motilitat ocular.....	49
1.2 Discussió retard acomodatiu.....	50

11. CONCLUSIONS

11.1 Conclusions motilitat ocular.....	52
11.1.1 Conclusions de l'efecte del contrast.....	52
11.1.2 Conclusions de l'efecte del color.....	52
11.2 Conclusions retard acomodatiu.....	52

12. BIBLIOGRAFIA.....	53
------------------------------	-----------

Índex d'annexos

Annex I: Full de consentiment informat.

Annex II: Fitxa inclusió / exclusió en l'estudi.

Annex III: Fragments del llibre "La chica del tren" de Paula Hawkins.

Annex IV: Taula de correlacions en la motilitat ocular de la condició habitual.

Índex de figures

Fig. 2.1: Descripció musculatura de l'ull (imatge extreta de <http://oerpub.github.io/epubjs-demo-book/content/m46484.xhtml>).

Fig. 2.2: Tremors i microsacàdics (Imatge extreta de Pons A. Martinez- Verdú, 2004).

Fig. 2.3: Representació de les fixacions (imatge extreta de <https://aprendizajeyvision.wordpress.com/2012/09/25/vision-y-lectura-3/>).

Fig 2.4: Descriptiu de les hipofixacions i hiperfixacions.

Fig. 2.5: Descriptiu dels moviments sacàdics durant la lectura (imatge extreta de <http://suncityvision.com/eyemovements>).

Fig. 2.6 a): Moviments oculars durant la lectura (imatge extreta de Grishman D. Simons, 1999).

Fig. 2.6 b): Descriptiu fixacions, moviments sacàdics i salts de línia durant la lectura.

Fig. 2.7: Mètodes electro-oculogràfics.

Fig. 2.8: Bobina escleral.

Fig. 2.9: Eye – tracker.

Fig. 2.10: Mètode de video-gravació.

Fig. 3.1: Efectes de la contracció i relaxació del múscul ciliar (imatge extreta de ortoptica, Olga de la Llandaluce 2006).

Fig. 3.2: Refractòmetre automàtic (imatge extreta de <http://www.imagenoptica.com.mx/pdf/revista46/acomodacion.htm>).

Fig. 4.1: Fórmula per calcular el contrast.

Fig. 4.2: Mostra de diferents contrastes (imatge de diferents contrastes imatge extreta de <https://sites.google.com/site/informaticclassroom/los-colores/contraste-entre-colores>)

Fig. 6.1: Esquema Eye Link 1000 plus camera.

Fig. 6.2: Reflexió corneal i centre pupil·lar.

Fig. 6.3: Esquema representatiu de les proves per l'avaluació de la motilitat ocular amb diferents contrast.

Fig. 6.4: WAM 5500.

Fig. 6.5: Representació del muntatge per l'avaluació del retard acomodatiu.

Fig. 7.1: Mostra d'un text utilitzat en l'estudi les proves.

Fig. 7.2: Representació de la prova amb un subjecte.

Fig. 7.3 a): Representació de la calibració prèvia a la prova.

Fig. 7.3 b): Representació d'una bona calibració.

Fig. 7.3 c): Representació d'una calibració pobre.

Fig. 7.4: Representació del muntatge de l'eye tracker amb un subjecte mentre realitza la calibració.

Fig. 7.5: Representació del muntatge.

Fig. 7.6: Creu de Malta.

Fig. 7.7: Representació de la prova amb un subjecte.

Fig. 8.1: Output Trial. Fulla d'Excel que obtenim amb l'Eye Link Plus 1000.

Fig. 8.2: Fixation Report. Fulla d'Excel que obtenim amb Eye Link Plus 1000.

Fig. 8.3: Saccade Report. Fulla d'Excel que obtenim amb Eye Link Plus 1000.

Fig. 8.4: Selecció inici i final de l'anàlisi.

Índex de taules

Taula 2.1: Funcions dels músculs extra-oculars.

Taula 3.1: Variació de l'amplitud d'acomodació amb l'edat segons Donders (1864) i Duane (1908).

Taula 3.2: Variació de la flexibilitat d'acomodació segons diferents autors (taula extreta de <http://www.imagenoptica.com.mx/pdf/revista46/acomodacion.htm>).

Taula 3.3: Comparació de mètodes de retinoscopia dinàmica (taula extreta de Fundamentos de optometría – refracció ocular, 2009).

Taula 4.1: Contrast entre text i fons (taula extreta de <https://sites.google.com/site/informaticclassroom/los-colores/contraste-entre-colores>).

Taula 7.1: Característica textos utilitzats en l'estudi.

Taula 9.1: Descripció de la base de dades dels resultats del Eye-tracker.

Taula 9.2: Descripció de la base de dades dels resultats del WAM.

Taula 9.3: Descriptiu del l'edat de la mostra.

Taula 9.4: Taula descriptiva de les variables de la condició habitual.

Taula 9.5: Taula correlacions significatives entre durada del text i diferents variables de la condició habitual.

Taula 9.6: Taula diferències significatives entre l'amplada de les fixacions.

Taula 9.7: Taula diferències significatives entre la durada de les fixacions.

Taula 9.8: Taula diferències significatives entre la durada de les fixacions.

Taula 9.9 Taula diferències significatives entre el número, duració, velocitat, número total i amplitud dels sacàdics.

Taula 9.10: Descriptiu del l'edat de la mostra.

Taula 9.11: Mitja, desviació estàndard, límits del IC (màx i mín) i percentils del retard acomodatiu per cadascuna de les condicions.

Taula 9.12: Diferència entre condicionons.

Índex de gràfiques

Gràfica 2.1: Relació duració i amplitud sacàdic.

Gràfica 2.2: Sacàdics de diferents amplituds amb les seves corresponents velocitats.

Gràfic 9.1: Descriptiu del sexe de la mostra.

Gràfic 9.2: Correlació entre Temps lectura i Número de fixacions.

Gràfic 9.3: Correlació entre Temps lectura i freqüència de sacàdics per segon.

Gràfic 9.4: Correlació entre Temps lectura i número de regressions.

Gràfic 9.5: Gràfic durada total de la lectura p per les diferents condicions de contrast.

Gràfic 9.6: Gràfic amplitud de les fixacions (°)per les diferents condicions de contrast.

Gràfic 9.7: Gràfic durada total dels sacàdics per les diferents condicions de contrast.

Gràfic 9.8: Gràfic durada total de la lectura p per les diferents condicions de color de fons.

Gràfic 9.10: Gràfic amplitud de les diferents condicions de fons.

Gràfic 9.11: Gràfic del número de sacàdics de les diferents condicions de color de fons.

Gràfic 9.12: Gràfic de l'amplitud (°)de sacàdics de les diferents condicions de color de fons.

Gràfic 9.13: Descriptiu del sexe de la mostra.

Gràfica 9.14: Diagrama de caixes de la mitja i ds del retard per cada condició.

1. INTRODUCCIÓ

El sentit de la vista es considera el més valuós dels cinc sentits, ja que l'ésser humà rep aproximadament el 75% de la informació del món que l'envolta a través dels ulls.

Una visió eficaç s'aconsegueix amb el correcte i precís funcionament de tots els components oculars que hi contribueixen, així doncs, els moviments oculars també són molt importants.

Aquests moviments estan originats per sis músculs que permeten orientar l'ull en direcció vertical, horitzontal o circular i estan íntimament relacionats amb el processament de la informació visual. L'objectiu d'aquests moviments oculars és el de dirigir les imatges dels objectes cap a la zona foveal de la retina de l'ull.

Per tant, podem considerar que aquests moviments tenen gran importància en activitats d'atenció, concentració, aprenentatge, com per exemple la pràctica de qualsevol esport o el simple fet de llegir un llibre.

Actualment, podem veure com la gran majoria de formats físics i digitals consten d'una gran diversitat de colors i contrast els quals pretenen transmetre diferents sensacions. Les pàgines webs, els suports en paper, revistes i diaris plantegen una nova generació de colors que antigament no existia.

Però tots aquests colors i contrastos com afecten a la nostra visió? Més concretament com afecten a la nostra motilitat ocular i a la nostra resposta acomodativa? És el mateix llegir un text amb un fons blau que amb un fons blanc?

Aquestes són algunes de les qüestions a les quals intentarem donar resposta amb la realització d'aquest treball, i així poder conèixer de primera mà i de manera objectiva quins possibles efectes tenen el contrast i el color de fons en la motilitat ocular i en la resposta acomodativa.

Estat de l'art

En aquest apartat del treball es presenta una recopilació sobre la informació més rellevant per posar en context l'estudi. En un primer apartat es desenvolupa la informació sobre el moviment ocular, en un segon sobre l'acomodació i el darrer els factors físics que poden afectar al mecanisme de lectura.

2. MOVIMENTS OCULARS DURANT LA LECTURA

En aquest apartat es presenten les generalitats sobre la innervació de la musculatura extra-ocular i els diferents tipus de moviments oculars que es realitzen durant la lectura.

2.1 Generalitats

2.1.1 Músculs extrínsecs del globus ocular

Les principals funcions del sistema oculomotor son: dirigir els ulls cap els estímuls visuals que es troben dintre del camp perifèric (retina perifèrica) cap el camp central i poder així mantenir la fixació sobre l'estímul d'interès. Tant si l'estímul es troba en moviment com si està estàtic, l'objectiu es mantenir centrada la imatge de l'estímul damunt de les fòvees d'ambdós ulls. En definitiva, l'objectiu final es coordinar ambdós ulls en tot moment per formar una única imatge de l'estímul fusionada per mantenir la visió binocular i evitar la diplopia (visió doble) [Von Noorden, 2002].

Els globus oculars estan situats dins la cavitat orbitaria. Aquests es poden moure en totes les direccions gràcies a la inserció de sis músculs extra-oculars: quatre rectes, superior, inferior, lateral (temporal) i medial (nasal); i dos oblics, inferior i superior (Figura 2.1). Els sis músculs es caracteritzen per que son músculs voluntaris i estan formats per fibres musculars estriades amb abundants fibres elàstiques.

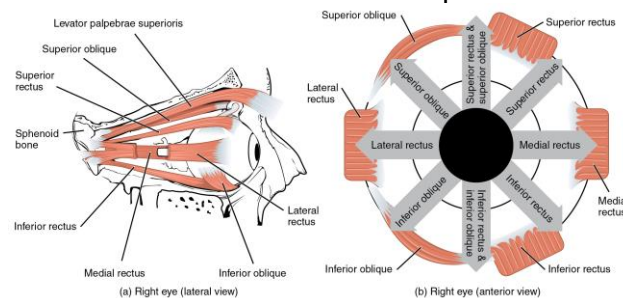


Figura 2.1: Descriptiu musculatura ull

<http://oerpub.github.io/epubjs-demo-book/content/m46484.xhtml>

Els quatre músculs rectes neixen a l'anell de Zinn, una estructura tendinosa situada al vèrtex de la orbita i rodejant el nervi òptic. L'oblic superior neix en el vèrtex de la orbita per sobre de l'anell de Zinn i l'oblic inferior en una fosa de poca profunditat a la part inferior-medial de l'orbita [Jordan Dr, 2012].

Aquest músculs estan innervats per diferents pars cranials: el nervi abductor (par cranial VI) innerva el recte lateral. El nervi oculomotor (par cranial III) innerva el recte inferior, oblic inferior, recte medial i recte superior. I finalment, l'oblic superior es innervat per el nervi troclear (par cranial IV). I la irrigació dels músculs extra-oculars corre a càrrec, principalment, de l'arteria oftàlmica.

Els músculs extra-oculars no realitzen únicament un únic moviment (acció principal), sinó que també tenen moviments addicionals (accions secundari i terciàries). En la taula 2.1 s'indiquen les accions principals, secundaries i terciàries.

Múscul	Acció Primària	Acció Secundària	Acció Terciària
Recte Lateral	Abducció	-	-
Recte Medial	Adducció	-	-
Recte Inferior	Depressió	Excicloducció	Adducció
Recte Superior	Elevació	Incicloducció	Adducció
Oblic Inferior	Excicloducció	Elevació	Abducció
Oblic Superior	Incicloducció	Depressió	Abducció

Taula 2.1: Funcions dels músculs extra-oculars

2.1.2 Classificació dels moviments oculars

Existeixen diferents formes de classificar els moviments oculars. Una d'aquestes classificacions és basa amb les finalitats dels moviments oculars [J. Prieto 1980]:

- **Duccions:** moviments monoculars al voltant dels eixos X, Y, Z.
- **Versions:** moviments binoculars, els ulls es desplacen cap a la mateixa direcció i sentit.
- **Vergències:** moviments binoculars disjuntius, els ulls es desplacen en la mateixa direcció però en sentit oposat.
- **Seguiments:** moviments automàtics, que permeten mantenir sobre la fòvea la imatge d'un objecte en moviment. La velocitat de desplaçament de l'objecte no ha de ser superior a 45°/s
- **Sacàdics:** moviments més ràpids que permeten saltar i fixar l'objecte d'interès damunt de la fòvea.

Més recentment, un altre autor classifica els moviments oculars segons la seva funcionalitat [Carpenter, 1988] :

- **Moviments per el manteniment de la mirada** (automàtics/involuntaris): compensen el moviment que poden presentar els objectes o bé el cap amb la finalitat de mantenir la imatge lo més fixe possible damunt la fòvea. Aquests moviments poden ser *vestíbul-oculars* (compensen els moviments de cap) i *optocinètics* (compensen els moviments de l'objecte).
- **Moviments per el desplaçament de la mirada** (voluntaris): permeten passar l'atenció d'un objecte d'interès a un altre i es subdivideixen en tres tipus:
 - **Sacàdics:** canvis bruscs de fixació. És caracteritzen per començar amb una acceleració molt ràpida, una latència variable (200-250ms aproximadament) i amplituds menors de 15°.
 - **Seguiment o persecucions:** moviments oculars de seguiment rotacional ràpid, amb un estímul de fixació clar. La seva velocitat oscil·la entre 30-45°/seg.
 - **Vergències:** moviments en els que es varia l'angle d'encreuament dels eixos visuals, és a dir els eixos visuals van en direccions contraries.
- **Moviments de fixació:** Eviten el fenomen de Fading (desaparició de la imatge per saturació dels fotoreceptors retinians. Quan es manté la fixació d'un objecte damunt la fòvea, cal que es produeixin micro moviments oculars amb la finalitat de que la imatge no s'esvaeixi. Inclou diferents tipus de micro-moviments: els *microsacàdics*, *desplaçaments lents*, *els de tipus tremor* i *les fluctuacions*.

Introdueix aquí que et centres en les fixacions, regressions i moviments sacàdics per que son el moviments que tenen mes influencia en la lectura i que desenvolupes en els següents punts.

2.2 Fixacions

Com ja he indicat abans les fixacions són els moviments que permeten mantenir la mirada sobre l'objecte d'interès de manera estable i que correspon a l'instant en el que els ulls es detenen, permetent mantenir la atenció.

Aquests moviments també son coneguts com micro-moviments degut a la seva petita amplitud i son definits com a pauses que realitzen els ulls de manera inconscient. Aquestes pauses permeten extreure i reconèixer la informació del text [Álvarez i González, 1996, Ciuffreda et al, 1995].

Díaz et al. [2004] varen determinar que les fixacions constitueixen el 90% del temps total de lectura

2.2. 1 Característiques de les fixacions

Les fixacions estan relacionades amb el contingut del text i també amb l'habilitat que presenta el lector.

Les característiques principals de les fixacions son:

- **Duració:** aquestes presenten una duració entre 200 i 250 ms [Álvarez i González, 1996; Mayer, 2002].
- **Amplitud perceptiva:** és la regió al voltant del punt de fixació en la qual es pot obtenir informació útil. Es sol mesurar amb el número de lletres. Aquesta depen del grau de desenvolupament de l'individu i de la dificultat del test [Palvlidis, 1981].

Díaz et al [2004] van determinar que l'amplitud perceptiva acostuma a ser d'uns 50 signes. Diversos experiments [McConkie y Rayner, 1975; Rayner, Inhoff, Morrison, Sloviaczek i Betera, 1981] van indicar que l'amplitud perceptiva s'estenia des de 3 caràcters a la esquerra del punt de fixació i fins a 15 caràcters cap a la dreta d'aquest. Com més gran és aquesta amplitud menys fixacions son necessàries.

Durant la fixació existeixen tres tipus principals de moviments oculars, aquests es poden classificar (Figura 2.2) segons la seva amplitud i freqüència en:

- Tremors: menor amplitud (17"-1') però alta freqüència (70-80 Hz)
- Fluctuacions: amplitud (5') i freqüència mitja (5 Hz)
- Microsacàdics: amplitud gran (5'-10') i baixa freqüència (2-5 Hz)

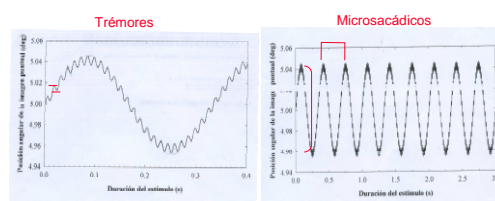


Figura 2.2: Tremors i microsacàdics (Pons A, Martinez – Verdú, 2004)

2.2.2 Contribució de les fixacions en la lectura

Si existeix un bon control oculomotor, els ulls són capaços de captar frases completes en una sola fixació, fent així que la lectura sigui més ràpida (Figura 2.3). És a dir, si el número de fixacions durant la lectura és baix, la lectura serà més ràpida.

Un altre paràmetre que afecta a l'agilitat de la lectura és el temps de cada fixació, com més elevat és aquest temps de durada de la fixació, més lenta lectura.

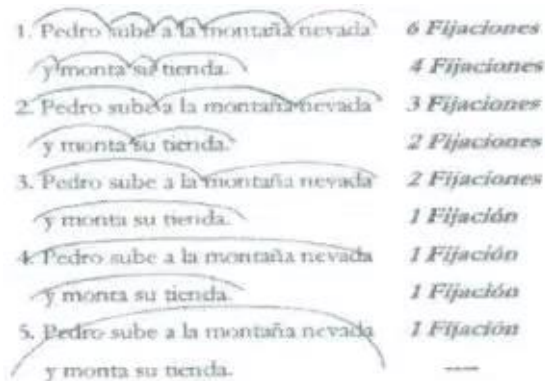


Figura 2.3: Representació de fixacions
(<https://aprendizajeyvision.wordpress.com/2012/09/25/vision-y-lectura-3/>)

2.3 Moviments sacàdics

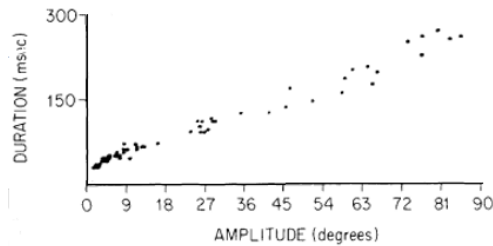
Els moviments sacàdics són moviments oculars que permeten dirigir ràpidament la nostra línia de mirada al punt d'interès per tal d'estimular la regió més sensible de la retina, la fòvea. Són moviments conjugats ja que tots dos ulls es mouen en la mateixa direcció i amb la mateixa quantitat. [Yang, 2002].

El seu control neurològic principal és localitza en el lòbul frontal contra lateral.

2.3.1 Característiques dels moviments sacàdics

- **Amplitud:** en la vida diària acostumem a realitzar entre 2 i 3 sacàdics per segon i normalment la gran majoria d'ells (més del 85%) tenen una amplitud inferior a 15°. Si aquesta amplitud és supera, els moviments sacàdics sovint es divideixen amb dos o més sacàdics de menor amplitud o s'acompanyen amb el moviments de cap [Carpenter, 1991].

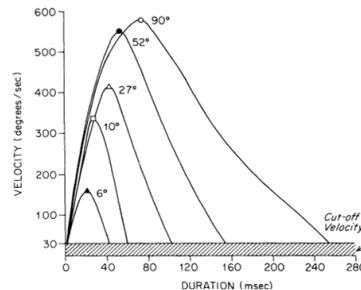
S'ha demostrat que existeix una correlació lineal entre l'amplitud del sacàdic i la seva duració, tal i com és mostra en el gràfic 2.1 [Baloh, Sills, Kumley & Honrubia, 1975].



Gràfic 2.1: Relació duració i amplitud del sacàdic

- **Duració mitja:** és el temps que tarda el sistema visual entre fixació i fixació. La duració mitja d'un sacàdic és independent de la direcció però sí depèn de la seva amplitud i oscil·la entre promitjos de 30 i 120 ms [Becker, 1991; Carpenter, 1988; Leigh y Zee, 1991; Young y Sheena, 1975]. Per sacàdics mesurats amb pocs graus, els rangs de duració van de 0.01 a 0.02 ms, mentre que per sacàdics de 20° d'amplitud superen els 0,07s.
- **Velocitat:** el moviment sacàdic és caracteritzat per començar una acceleració molt ràpida, que dona lloc a un pic de **velocitat màxima**, seguit d'una ràpida desacceleració fins arribar a un punt de posició estable. Existeix una relació directa entre l'amplitud i la velocitat, com més gran sigui l'amplitud del moviment sacàdic més elevat serà el valor de la velocitat mitja (Freedman, 2008). De mitja, un increment d'1° en l'amplitud produeix un augment d'uns 20°/s en la velocitat màxima [Collin T, 2008].

En els moviments sacàdics amb una amplitud més gran de 20° la fase de desacceleració serà major que la d'acceleració tal i com es pot observar en la Gràfica 2.2 [Baloh et al. 1975].

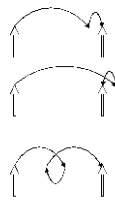


Gràfic 2.2 Sacàdics de diferents amplituts amb les seves corresponents velocitats

- La **latència:** és el temps que transcorre des de l'aparició de l'estímul fins que es realitza el moviment sacàdic. El seu valor normal és aproximadament de 200ms per 10° d'amplitud. Aquest pot canviar depenent de la il·luminació, tamany, contrast del estímul, motivació, atenció del subjecte i el desenvolupament cognitiu [Carpenter, 1988].
- L'**exactitud** del sacàdic s'interpreta com la diferència entre la posició del ull i la posició real de l'estímul d'interès. Aquesta és independent de la latència del sacàdic [Becker, 1972; Ottes, Van Gisbergen, & Eggermont, 1985; Prablanc & Jeannerod 1975], tot i així, tal i com defineix Findlay [1981] si el subjecte s'anticipa a la realització del sacàdic l'exactitud pot disminuir.

Però els moviments sacàdics poden ser inexactes: poden ser curts, necessitant així un segon sacàdic de menor amplitud per aconseguir arribar a l'estímul (hipofixacions) o bé al contrari poden sobrepassar l'objecte, necessitant així un

segon sacàdic de menor amplitud per aconseguí arribar a l'estímul. (hiperfixacions). (Figura 2.4)



Figura

2.4: Descriptiu hipofixacions i hiperfixacions

2.3.2 Contribució dels moviments sacàdics en la lectura

Els moviments sacàdics, són els moviments oculars que es realitzen durant la lectura, d'esquerra cap a dreta. Aquests moviments s'encarreguen de portar els ulls a fixar paraula per paraula en la lectura.

El lector escaneja cada línia del text mitjançant una sèrie de moviments sacàdics alternant-los amb una sèrie de fixacions.

Scheiman [1994] indica que quan menys sacàdics es realitzin durant la lectura i més amplia sigui la visió parafoveal (amplitud perceptiva) més ràpida és la lectura i més bona la comprensió del text llegit.

En la figura 2.5 es representen els moviments sacàdics que es realitzen durant la lectura.

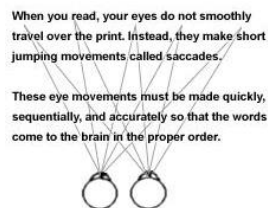


Figura 2.5: Descriptiu moviments sacàdics durant la lectura
<http://suncityvision.com/eyemovements>

2.4 Regressions

Les regressions son moviments sacàdics en sentit oposat a la lectura (de la dreta cap a l'esquerra) i poden ser curts (per corregir les hiperfixacions) o llargs (quan és necessari tornar a rellegir el text per a la seva comprensió o bé quan és realitza un canvi de línia, "Return sept") [Rayner, 1998]

Constitueixen sobre el 23% [Yang, 2000] de moviments oculars durant la lectura.

2.4.1 Característiques de les regressions

El valor d'amplitud dels "Return step" (canvi de línia) és aproximadament d'uns 10° [Mico, 2002].

2.4.2 Contribució de les regressions en la lectura

Tal i com ja s'ha comentat anteriorment, ocasionalment el lector realitza uns moviments anomenats "sacàdics de regressió" per tornar a fixar sobre una part anterior del text que ja havia llegit. I quan aquest arriba al final d'una línia, es produeix un gran sacàdic,

anomenat "Return sept", el qual porta els ulls al principi de la pròxima línia a llegir [Mico, 2002].

A més a més, les regressions durant la lectura es poden realitzar per diversos motius [Díaz et al,2004]:

- Corregir una mala lectura
- Tornar a detalls interessants
- Verificar un significat d'alguna paraula
- Corregir errors oculomotors

Les regressions augmenten amb la dificultat del text [Pollatsek, 2006].

2.5 Moviments oculars durant la lectura

Els moviments oculars comuns executats durant la lectura son tres: fixacions, sacàdics i regressions.

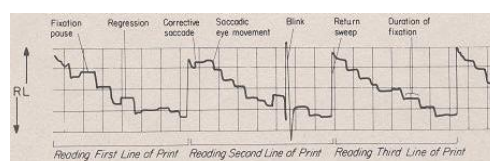
Les **fixacions** es refereixen a una sèrie de parades o pauses que realitza el sistema motor durant la lectura amb la finalitat de poder processar la informació [Ciuffreda et al, 1995].

Els **moviments sacàdics** son uns moviments curts i ràpids dels ulls, que van d'un punt a un altre (d'esquerra a dreta, segueixen la direcció habitual de la lectura). L'amplada promig que un moviment sacàdic és al voltant de 8 a 9 espais de caràcters (2 – 4º) [Alvarez L., González P.,1996].

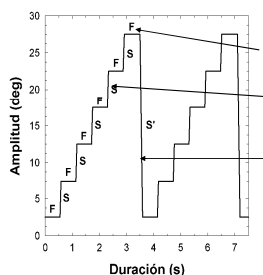
Les **regressions** son moviments sacàdics de dreta a esquerra (és a dir, en direcció contrària dels sacàdics), que tenen lloc quan és produeixen hiperfixacions, per una mala comprensió i/o per una re-confirmació de la lectura [Rowe, 2003].

Aquests tres moviments no son regulars, sinó que varien en número i velocitat.

Les disfuncions oculomotores dels nens es reflexen a la lectura, fent que la seva capacitat lectora sigui inferior a la mitja respecte a l'edat. Aquestes dificultats es manifesten en salts de línia, velocitat de lectura lenta i moviments excessius de cap.



(a)



Els escalons són les fixacions necessàries per la comprensió lectora

Les baixades són els moviments sacàdics.

Les rampes brusques són salts de línia

(b)

Figura 2.6: a) Moviments oculars durant la lectura(Grishman D. Simons, 199)

b) Descriptiu fixacions, moviments sacàdics i salts de línia durant la lectura

2.6 Avaluació dels moviments oculars durant la lectura

Per l'avaluació dels moviments oculars durant la lectura s'utilitzen proves electrodiagnòstiques. Aquestes són proves totalment objectives que permeten registrar els moviments oculars, fixacions, sacàdics, salts de línia i regressions. Hi ha diferents mètodes com poden ser:

- Mètodes electro-oculogràfics (EOG) basats en la mesura de les diferències de potencial elèctric de la pell dels elèctrodes que es col·loquen al voltant del ull [Kaufman et al. 1993]. Aquesta tècnica mesura els moviments dels ulls amb relació amb la posició del cap (Figura 2.7)

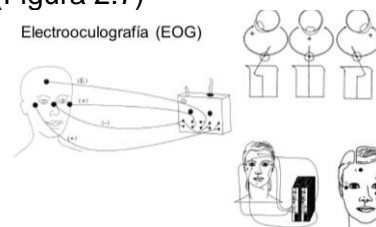


Figura 2.7: Mètodes electró-oculogràfics

- Lents de contacte de la bobina escleral on s'assigna un objecte de referència, mecànica o òpticament, muntat sobre una lent de contacte. És el mètode de mesura del moviment de l'ull més precís i a l'hora també és el més intrusiu, amb una exactitud d'uns 5-10s d'arc en un rang de 5° [Young y Sheena, 1975]. Mesura la posició del ull amb relació al cap (Figura 2.8)



Figura 2.8: Bobina escleral

- Mètodes infrarojos de reflex en còrnia (Eye-Tracker). El reflex corneal de la font de llum es mesura en relació a la ubicació del centre de la pupil·la. Aquests reflex corneals son coneguts com imatges de Purkinje [Crane 1994] (Figura 2.9).



Figura 2.9: Eye-Tracker

- Mètodes de vídeo-gravació (VOG). Aquesta categoria agrupa una ampla varietat de tècniques de gravació de moviments dels ulls que involucra característiques distingibles dels ulls, per exemple, el diàmetre pupil·lar o la posició del limbe de la còrnia (Figura 2.10).



Figura 2.10: VOG

3. ACOMODACIÓ

En aquest apartat es presenta el mecanisme d'acomodació i les diferents habilitats acomodatives del sistema visual.

3.1 Introducció

L'acomodació és defineix com el canvi diòptric en la potència del ull [Keeney, 1995]. Gracies aquesta capacitat del sistema visual podem gaudir de visió nítida en les diferents distàncies.

També és pot definir l'acomodació com la capacitat de l'ull per enfocar objectes localitzats entre l'infinít òptic i el punt proper d'acomodació [Heath G, 1995]. Això és possible gràcies a l'estructura ocular del cristal·lí que té la capacitat de variar la seva curvatura, permetent així poder enfocar les imatges dels objectes que es troben a diferents distàncies sobre la retina [Casillas E, 2004].

L'augment de la curvatura del cristal·lí és produeix gràcies a la contracció del múscul ciliar (Figura 3.1) que està innervat pel sistema nerviós vegetatiu. Quan aquest múscul es contrau provoca una relaxació de la Zonula de Zinn, que és tradueix en un augment de la curvatura del cristal·lí, que implica un augment de la seva potència [Charman, 1991].

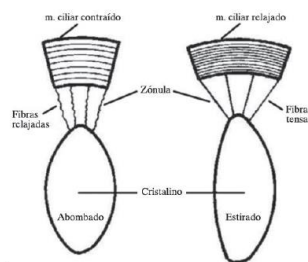


Figura 3.1: Efectes de la contracció i relaxació del múscul ciliar
Ortòptica, Olga de la Landaluze 2006

3.1.1 Amplitud d'acomodació (AA)

L'amplitud d'acomodació es defineix com la màxima acomodació que un individu pot realitzar.

El valor de l'amplitud d'acomodació està relacionada amb l'edat [Atchison 1995] i limitat per certes patologies acomodatives [Duke-Elder 1985]. En la taula 3.1 podem observar la variació de l'AA amb l'edat:

Edad	Amplitud de acomodación		Edad	Amplitud de acomodación	
	Duane	Donders		Duane	Donders
10	13,5	19,7	40	6	5
15	12,5	16	45	3,7	3,8
20	11,5	12,7	50	2,0	2,6
25	10,5	10,4	55	1,3	1,7
30	9	8,2	60	1	1
35	7,2	6,3	65	0,5	0,5

Taula 3.1: Variació de l'amplitud d'acomodació amb la edat Donders (1864) i Duane (1908)

3.1.2 Flexibilitat d'acomodació

La flexibilitat d'acomodació ens indica la capacitat que té el sistema visual per poder realitzar canvis acomodatius d'estimulació i relaxació de l'acomodació, i es basa en contar el número de vegades per minut que pot realitzar aquests canvis acomodatius [Kedzia 1999].

En la taula 3.2 es poden observar els valors esperats de flexibilitat d'acomodació en visió propera segons diferents autors:

	Edad	Monocular	Binocular
Zeller et al.	20 a 30 a.	11 ciclos x min	8 ciclos x min
Hennessey	8 a 14 a.	11.8 ciclos x min	7.8 ciclos x min
Griffin	18 a 23a.	17 ciclos x min	13 ciclos x min
Linn	8 a 14 a.	8 ciclos x min	5 ciclos x min
Sheiman et al.	6 a	5.5 ciclos x min	3 ciclos x min
	7 a	6.5 ciclos x min	3 ciclos x min
	8 a 12 a	7 ciclos x min	5 ciclos x min

Taula 3.2: Variació de la flexibilitat d'acomodació segons diferents autors
<http://www.imagenoptica.com.mx/pdf/revista46/acomodacion.htm>

3.2 Retard acomodatiu

El retard acomodatiu es defineix com la diferència que es dona entre la resposta acomodativa real que realitza el subjecte i la demanda acomodativa que indueix l'estímul segons on està situat. És a dir ens permet establir el pla d'enfoc del subjecte respecte l'estímul acomodatiu.

Aquest fet, és deu principalment per la miosi induïda al enfocar en visió propera, ja que produeix major profunditat de focus. [Borràs et al, 1997].

Tal i com ja s'ha comentat anteriorment, el retard acomodatiu (R) és calcula com la diferència entre l'acomodació estimulada (AS) i la resposta acomodativa mesurada (AR):

$$R = AS - AR$$

3.3 Mètodes de mesura del Retard acomodatiu

Quan es realitza la retinoscopia en visió propera amb presència d'un estímul acomodatiu, aquesta rep el nom de Retinoscopia Dinàmica.

En tots els mètodes el pacient ha de portar la seva correcció de lluny mentre està observant un test de visió propera situat a 40 cm [Rabbets, 1998].

Les respostes que es poden observar són:

- **Retard acomodatiu positiu (LAG):** la resposta acomodativa que dona l'individu és inferior a la demanda. Amb el retinoscopi s'observen ombres directes amb mirall pla, caldrà allunyar-nos del estímulo o bé neutralitzar amb lents positives fins observar punt neutre. És la condició acomodativa desitjada.
- **Retard acomodatiu Neutre:** el pacient dona una resposta acomodativa just en el punt on està situat l'estímul acomodatiu, és a dir, la demanda acomodativa real és igual a la resposta acomodativa. En aquest cas, s'observa amb el retinoscopi punt neutre. Aquesta resposta indica que no hi ha retard acomodatiu.
- **Retard acomodatiu negatiu (LEAD):** la resposta acomodativa és superior a la demanda. Aquesta resposta indica que hi ha un excés d'acomodació. Amb el retinoscopi s'observen ombres inverses que es poden compensar amb lents negatives.

Es considera un retard acomodatiu normal si els valors es troben entre +0.50D i +0.75D quan l'objecte acomodatiu es troba situat a 40cm [Scheiman, 2002]

Si obtenim un valor de retard més gran a +1.00D pot ser símptoma d'una insuficiència acomodativa (presbícia, fatiga), una hipermetropia latent o manifesta no compensada, endofòria i excés de potencia negativa en la seva compensació òptica. I en canvi si obtenim un valor de retard inferior a +0.25D, ens pot indicar la presència d'un excés de positiu, una exofòria descompensada o un espasme acomodatiu

Existeixen diferents tècniques per mesurar el retard acomodatiu, entre les que destaquem el mètode de Nott, el mètode d'estimació monocular (MEM) i la retinoscòpia de Bell (Taula 3.3).

3.3.1 Retinoscòpia de NOTT

Consisteix en mesurar el retard acomodatiu a 40cm en condicions binoculars. Amb el retinoscopi observarem la resposta acomodativa mentre el pacient està observant un estímulo situat a 40cm.

Si s'observa moviment directe cal allunyar el retinoscopi del optotip fins aconseguir el punt neutre i determinar a la distància al que es produeix la neutralització.

Mitjançant la inversa de la distància entre l'estímul acomodatiu (test) i la resposta acomodativa (distància a la qual trobem el punt neutre) obtindrem el valor del retard.

3.3.2 Retinoscòpia de mètode d'estimació monocular o MEM

El propòsit d'aquesta tècnica és fer una estimació del retard acomodatiu monocular en condicions de binocularitat. S'utilitzen lents esfèriques positives o negatives per tant de poder realitzar l'estimació de la resposta acomodativa. Fer estimació de si existeix variació en el canvi de les ombres observades.

3.3.3 Retinoscòpia de Bell

És una variant de la tècnica de NOTT que es realitza a una distància de treball fixa de 40cm i es mou l'estímul acomodatiu.

Es demana al pacient que fixi la seva mirada en l'estímul, acostuma a ser una esfera d'acer. L'examinador mou l'estímul lentament cap al pacient fins que observa la neutralització.

Mètode	Posició test	Posició Retinoscopi	Mesura
Retinoscopia de NOTT	Estàtic	Es Mou cap al pacient	Interval diòptric entre test i retinoscopi
Retinoscopia "bell"	Es mou cap al pacient	Estàtic	Interval diòptric entre test i retinoscopi
Retinoscopia MEM	Estàtic	Estàtic	Potència lent neutralitzadora

Taula 3.3: Comparació de mètodes de retinoscopia dinàmica (Fundamentos optometria – refracció ocular, 2009)

3.3.5 Refractòmetres automàtics

Actualment en el mercat es troben instruments automàtics que permeten la mesura objectiva del estat refractiu ocular en visió llunyana. Aquests instruments estan basats en diferents principis com el de la retinoscopia o el principi de Schiemer [Martinez-Corral, 1998], (Figura 3.2).

Aquests instruments projecten llum infraroja (amb longituds d'ona entre 800nm i 900nm) sobre el fons del ull i analitzen la llum que surt de l'ull després de haver estat reflexada a la retina. Per a controlar l'acomodació quan la mesura es fa en condicions de visió llunyana.



Figura 3.2 Refractòmetre automàtic
<http://www.airaoptical.in/auto-refractometer.html>

Aquests instruments com ja hem dit s'utilitzen principalment per la determinació de l'error refractiu en visió llunyana però són poc utilitzats per mesurar la resposta acomodativa.

$$\text{Retard acomodatiu} = \text{Rx VL} - \text{Rx VP} + (1/\text{distància del test en Vp})$$

On RX VL, és la refracció en visió llunyana i RX VP és la refracció en visió propera.

El principal desavantatge dels refractòmetres automàtics convencionals és l'obtenció de resultats lleugerament més miòpics respecte la retinoscopia. Joubert i Harris [1997] van trobar una diferència de 0.25D i McBiren i Millodaot [1985] una diferència de 0,29D més miopitzada (podríem dir més negativa) que en la refracció subjectiva. Per tal d'evitar aquest error cap a miopia s'utilitzen tècniques de relaxació de l'acomodació (on s'esborronen els objectes de fixació) i es realitza la mesura amb cicloplegia o s'utilitzen refractòmetres automàtics de camp obert [Fedke et al, 2009].

3.4 Factors que influeixen en les microfluctuacions de l'acomodació

Quan mantenim la visió en un estímul fix, el sistema acomodatiu experimenta variacions temporals intrínseques, anomenades microfluctuacions [Alpern 1958; Campbell et al. 1959; Charman et al. 1988; Winn et al. 1990]. Aquestes causen petits canvis de desenfoc retinina.

Aquestes variacions tenen un rang al voltat de 0,50D [Campbell et al. 1959; Charman et al. 1988; Winn et al. 1990, Denieul 1982, Kotulak et al 1986] i poden augmentar el seu valor quan la demanda acomodativa és major [Kotulak et al al 1986; Harb et al. 2006].

Existeixen molts factors que influeixen a el llindar de borrossitat o profunditat de focus [Wang et al. 2006]. Alguns d'aquests factors que afectaran a les microfluctuacions de l'acomodació son el contrast, la luminància, la freqüència espacial del estímul i el tamany pupil·lar.

3.4.1 Luminància del estímul

La luminància és una mesura fotomètrica que determina la quantitat de llum que és emesa per un objecte [Wang et al. 2006].

El nivell mínim de luminància que ha de presentar un estímul acomodatiu per desencadenar la resposta acomodativa és de 0,002cd/m² [Campbell, 1954] i quan s'acosta a valors de 0,051 cd/m la resposta acomodativa no canvia [Johnson, 1976].

3.4.2 Tamany pupil·lar

Gray (1993) i Stark (1997) van comprovar la variació de les microfluctuacions de l'acomodació per diferents mides de pupil·les artificials mantenint l'estímul acomodatiu sempre a la mateixa distancia. El qual va demostrar que per pupil·les inferiors a 2mm augmentaven les microfluctuacions en baixes freqüències.

3.4.3 Contrast del estímul

Wang [2006] va determinar que en nivells de contrast baixos, s'experimenta un petit augment variable de la profunditat de focus que pot ser produït per una reducció de l'agudesa visual i a la ineficàcia del sistema de cons per guiar el sistema acomodatiu. Aquest augment pot fer pensar amb variacions de les microfluctuacions.

Un altre autor, Denieul [1994] afirmà que a mesura que disminueix el contrast del estímul, la magnitud de les microfluctuacions augmenta, però només per la regió de les baixes freqüències i mantenint-se amb valors constants a les altres freqüències.

3.4.4 Freqüència espacial del estímul

Els estudis de Toshida [1998] i Day [2009] suggereixen que per freqüències espacials mitges de l'estímul el llindar de sensibilitat a la borrositat es màxim. Això implica mínimes variacions de les microfluctuacions perquè el sistema de control acomodatiu mantingui la resposta acomodativa. És a dir, són necessaris grans desenfocaments en les regions de freqüència espacials altes i baixes per que el sistema acomodatiu les detecti.

3.5 Anomalies de l'acomodació

La funció acomodativa abasta una sèrie d'habilitats que han de mantenir uns nivells òptims de funcionalitat.

Amb el pas del temps, el cristal·lí perd la capacitat de deformar-se (presbícia) i també perd transparència (cataractes). A vegades aquestes habilitats acomodatives també es troben disminuïdes per altres raons alienes a processos fisiològic associats a l'envelliment [Arnoldi i Reynolds, 2007].

Duke – Elder (1985) classifica les alteracions del sistema acomodatiu en:

- Insuficiència acomodativa: presenta una amplitud acomodativa reduïda respecte al valor normal segons la edat. Pot presentar-se per debilitat del múscul ciliar [Duke-Elder, 1985] o esclerosi excessiva del cristal·lí.

- Acomodació poc sostinguda: després d'una estimulació continuada de l'acomodació apareixen signes de fatiga, però l'amplitud acomodativa és normal [Cooper, 1998].

- Inèrcia d'acomodació: presenta dificultats per canviar l'estat acomodatiu, fent que la resposta sigui més lenta.

- Paràlisi acomodació: no es produeix una resposta del sistema acomodatiu amb estímuls de visió propera [Cooper, 1998].

4. FACTORS QUE AFECTEN A LA LECTURA

4.1 Lectura

Díaz, Gómez, Jiménez y Martínez [2004] defineixen la lectura com una successió de signes gràfics o estímuls visuals que poden ser percebuts i compresos, així com la capacitat per seleccionar i avaluar la informació més important del text.

Per tant, l'acte de llegir implica de manera directa el sistema motor visual, i la combinació dels moviments dels ulls amb el procés fisiològic de la memòria, la concentració i tasca visual de la informació [Garzia et al, 1990].

La lectura és considerada una habilitat fonamental i necessària en l'activitat diària. La lectura pot ser definida com l'habilitat més important per l'èxit en la escola i la societat [Hall i Moats 1999].

Les primeres investigacions realitzades es basaven en comparar els bons lectors (200 paraules o més per minut) amb els lectors dolents (menys de 200 paraules per minut) van permetre observar moltes diferències entre els grups, una d'aquestes son els moviments oculars [Rayner 1998]. Els lectors considerats "dolents" realitzen més moviments oculars regressius, la qual cosa implica un major nombre de fixacions per cada línia del text respecte als bons lectors.

Aquests resultats van ser erròniament interpretats, doncs es va considerar únicament que les dificultats en la lectura eren degudes exclusivament a deficiències en el processament visual, i quan aquestes es corregissin la lectura milloraria [Stanovich, 1996]. Actualment, un gran número d'investigacions ha demostrat que la majoria de les dificultats de la lectura son conseqüència d'alteracions en la fonologia i les intervencions que aborden aquesta àrea son generalment molt beneficiosos per ajudar als mals lectors a desenvolupar i millorar les habilitats lectores [Panel Nacional de Lectura, 2000; Shaywitz, 2003, Stanovich 1986].

Tot seguit és tractaran els diferents factors (contrast, color, il·luminació, tamany estímulo, paper i pantalles) que influeixen a la lectura.

4.2 Contrast

Entenem contrast com la raó entre el nivell màxim i mínim de luminància d'un patró visual. Matemàticament és defineix de la següent manera (Figura 4.1):

$$\frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \times 100$$

Figura 4.1: Fòrmula per calcular el contrast.

Segons el to, valor i saturació que s'elegeixin en una figura per afegir sobre un fons, podem obtenir diferents contrastos, tal i com podem observar en la següent figura (Figura 4.2):

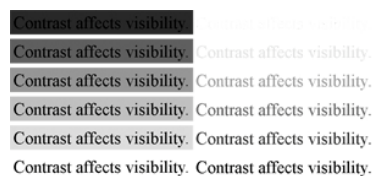


Figura 4.2: Mostra de diferents contrast <http://www.ies.org/>

El contrast pot afectar a la velocitat de processament de la percepció visual de diferents maneres. Alguns estudis mostren que els temps de reacció (temps des de que apareix el estímulo fins l'inici d'una resposta o reacció) disminueixen amb l'augment de contrast [Lupp, Hauske i Wolf 1976; Harwerth i Levi 1978; Mihalova, Stomonyakov, y Vassileve 1999]. Aquests resultats son semblants als que va trobar Mihaylova [1999] amb la mesura de potencials evocats amb reixetes de diferents contrastos.

Per tant, la percepció visual és més ràpida a mesura que augmenta el contrast. El contrast també afecta a la capacitat de discriminació dels estímulo, i afecta a l'hora a la duració de la fixació. Erkelens [1996] va mostrar que a l'augmentar la dificultat de discriminació dels estímulo (estímulo de menor tamany) augmentava la duració de la fixació.

Un altre factor que es pot relacionar amb el contrast és la velocitat de lectura. Aquesta disminueix considerablement amb nivells de baix contrast, en canvi amb nivells de contrastos més elevats la velocitat és independent del contrast [Legge, Rubin i Luebker, 1987].

Alguns autors com Legge, Ahn, Klitz i Luebker [1997] van relacionar el contrast amb el numero i duració de les fixacions. Al disminuir el contrast també és redueix el període visual, produint així un augment del número i duració de les fixacions i, per tant, una velocitat de lectura més baixa en textos amb baix contrast.

Aquesta teoria va ser confirmada per Roufs i Boschman [1997], els quals van determinar a més a més que l'amplitud dels moviments oculars sacàdics disminuïa al incrementar el contrast.

4.3 Color

Els psicòlegs de la Gestalt [1967] van estudiar l'efecte del color en la organització visual, i través d'aquesta altres processos perceptius complexos com el reconeixement visual de paraules i lectura. Els resultats van demostrar que el color pot influir en l'agrupació, forma i procés de segmentació de les paraules involucrades en la lectura.

Kritani Yoshie i Shirai Shogo [2003] van realitzar un estudi per determinar l'efecte del color de fons amb la lectura de pàgines webs, on van trobar un augment de la fatiga amb colors de fons com el groc, verd i vermell, respectivament, i la fatiga era menor amb el fons blanc. També van trobar que la dificultat de lectura era major amb els colors de fons que no era el blanc, i el color que més dificultat presentava era el vermell seguit del blau, groc i verd.

Eva Heller [2004] va determinar que per obtenir una bona lectura era necessari que el color del fons fos el més clar i el de les lletres el més fosc. L'efecte invers produïa una sensació de vibració a les lletres que dificultava la lectura. A més a més, va afirmar que un color viu s'ha de combinar amb un negre o blanc, ja que així s'augmenta la nitidesa de la imatge.

La combinació de dos colors (text – fons) produeix diferents contrastos. Si aquest, es pobre produeix un augment a la dificultat en la lectura del text, tal i com es pot observar en la Taula 4.1.

		Fondo								
		Rojo	Naranja	Amarillo	Verde	Azul	Violeta	Negro	Blanco	Gris
Primer Plano	Rojo		Pobre	Bueno	Pobre	Pobre	Pobre	Bueno	Bueno	Pobre
	Naranja	Pobre		Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Bueno	Pobre	Pobre
	Amarillo	Bueno	Bueno		Pobre	Bueno	Pobre	Bueno	Pobre	Bueno
	Verde	Pobre	Pobre	Pobre		Bueno	Pobre	Bueno	Pobre	Bueno
	Azul	Pobre	Pobre	Bueno	Bueno		Pobre	Pobre	Bueno	Pobre
	Violeta	Pobre	Pobre	Bueno	Pobre	Pobre		Bueno	Bueno	Pobre
	Negro	Pobre	Bueno	Bueno	Bueno	Pobre	Bueno		Bueno	Pobre
	Blanco	Bueno	Bueno	Pobre	Pobre	Bueno	Bueno	Bueno		Bueno
	Gris	Pobre	Pobre	Bueno	Bueno	Pobre	Pobre	Pobre	Bueno	

Taula 4.1: Contrast entre text i fons

<https://sites.google.com/site/informaticclassroom/los-colores/contraste-entre-colores>

4.3.1 Blanc i negre

És la combinació més coneguda i més utilitzada per els textos llargs. A més a més és la que millor es llegeix en visió propera, ja que el missatge es transmet de manera més clara i directa gràcies al contrast [Heller, E, 2004].

Tot i així, al realitzar el negatiu d'aquesta composició, és a dir, un blanc sobre fons negre, els textos es llegeixen pitjor.

4.3.2 Groc i negre

És la combinació de les senyals d'avertència, ja que es veu i es llegeix millor de lluny, però no és una bona combinació per textos llargs.

4.3.3 Text multicolor

Augmenta la dificultat de lectura, més il·legibles, i dona la sensació de superficials

4.4 Il·luminació

Per aconseguir una bona concentració en la lectura es recomana, disposar de bona il·luminació, evitant llums mol vives i brillants. A falta de llum natural, la il·luminació elèctrica és la més còmoda, amb totes les seves varietats de fons d'il·luminació, incandescents, fluorescents, halògens i leds.

S'ha de buscar una posició en la que llum que no produeixi ombres.

4.5 Tamany estímul

S. Van der Stigchel (2012) va valorar com es veien modificades les fixacions d'un sacàdic i la latència d'aquests per tres mides d'estímuls diferents, on va obtenir els resultats que mostraven una latència menor amb l'estímul més gran i menys precisió per l'estímul petit.

4.6 Paper i pantalles

Hi ha diversa controvèrsia sobre la velocitat de lectura quan aquesta es realitza sobre paper o es realitza sobre monitors o amb pantalles. Switchenko [1984], Askwall [1985] i Cushman [1986] van trobar que la velocitat de lectura no es veia afectada pel mètode de presentació, però Creed et al [1987]; Wilkinson y Robinshaw [1987] van demostrar una pitjor exactitud de la posició de l'ull respecte la imatge (text) per tasques en proves amb pantalla.

5. OBJECTIUS

Basant-nos en els diferents estudis descrits en l'apartat anterior i relacionant-los amb el contrast, el color de fons i el retard acomodatiu ens plantejem els següents objectius:

Objectiu genèric de l'estudi

La finalitat d'aquest treball és estudiar l'efecte de canvis en el contrast acromàtic, blanc-negre, entre les lletres i el fons d'un text i els canvis en el color de fons en els moviments oculars i en el retard acomodatiu durant el procés de la lectura.

Objectiu específic de l'estudi

1. Determinar les característiques habituals en la motilitat ocular i acomodació durant la lectura de la condició habitual.
2. Determinar els canvis en els paràmetres en la motilitat ocular al utilitzar 4 diferents condicions de contrast (alt, mig, baix i invertit) de text durant el procés de lectura.
3. Específicament s'analitzaran el canvis en les fixacions, sacàdics i regressions.
4. Determinar els canvis en els paràmetres en la motilitat ocular al utilitzar diferents contrastos de color en les lletres i el fons de text durant el procés de lectura. Específicament s'analitzaran el canvis en les fixacions, sacàdics i regressions.
5. Determinar els canvis en el retard acomodatiu 4 diferents condicions de contrast (alt, mig, baix i invertit) de text durant el procés de lectura.
6. Determinar els canvis en retard acomodatiu al utilitzar diferents contrastos de color en les lletres i el fons de text durant el procés de lectura.

Objectiu específic personal

El principal objectiu personal és aprofundir i adquirir nous coneixements sobre els moviments oculars i el retard acomodatiu, aprenent a interpretar els resultats obtinguts amb un sistema d'eye tracking.

Així com conèixer el món de la investigació en la optometria.

6. INSTRUMENTACIÓ

En aquest apartat es descriuen els instruments que s'han utilitzat per realitzar a part experimental del estudi, les seves característiques tècniques i quina és la funció del muntatge experimental

6. 1 Material necessari pel registre de moviments oculars (Eye Link 1000 plus)

Podem classificar el material i la instrumentació en dos sub-categories:

- Sistema de registre de moviments oculars (Eyetracker: Eye link 1000 plus):

L'Eye Link 1000 plus és un eye-tracker comercial que permet registrar amb molta precisió els moviments oculars. Per gestionar el seu ús és necessari tenir en compta tres apartats ben diferents:

- **Sistema de recolzament de barbata i front:** perquè el cap del subjecte quedi estable durant el desenvolupament de les diferents proves realitzades.

- **Eyelink 1000 plus càmera** (Figura 6.1): és un sistema de camp obert no invasiu, format per una càmera d'alta sensibilitat a la llum infraroja i un panell de LEDs infrarojos que es projecten sobre els ulls del participant. La càmera enfoca binocularment els dos ulls del pacient i el panell de LEDs projecta llum infraroja sobre ells.

El sistema eye tracker pren com referent, el centre pupil·lar i la reflexió corneal (Figura 6.2), que permet conèixer en tot moment on mira el pacient i mesurar on mira el pacient.

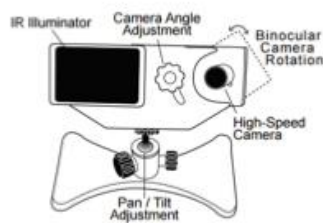


Figura 6.1: Esquema d'Eye Link 1000 plus càmera



Figura 6.2: Reflexió corneal i centre pupil·lar

La càmera es caracteritza per tenir una precisió de 0.25° - $0,5^{\circ}$, una resolució de $<0,01^{\circ}$ RMS i una freqüència de mostreig de 2000hz monocular/ 1000hz binocular.

- **Ordinador de control de registres (Host PC):** aquest ordinador permet calibrar la posició de mirada del pacient. Computeritza la posició de mirada del participant durant tot el desenvolupament de la prova i processa totes les dades captades per la càmera.
- Sistema de creació d'estímuls per els diferents tests de motilitat ocular:

- **Ordinador per la presentació d'estímuls (Display PC):** realitza la execució de les prova dissenyades.

- **Programa experiment Builder:** programa informàtic per el disseny i desenvolupament de les diferents proves.

L'esquema d'aquest sistema és pot veure representat a la Figura 6.3.

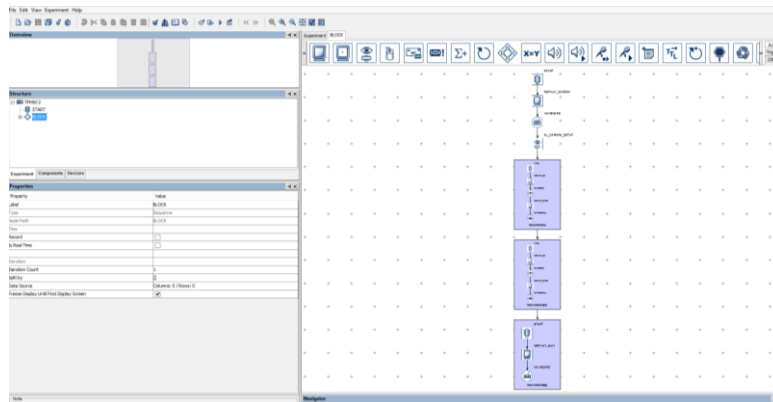


Figura 6.3: Esquema representatiu de les proves per l'avaluació de la motilitat ocular amb diferents contrastes

6.2 Material necessari per l'avaluació del retard acomodatiu

- **Auto-refractòmetre/ Queratòmetre WAM 5500** (Figura 6.4): és un autorefractòmetre i queratòmetre binocular de camp obert, que permet obtenir dades de l'autorrefractometria estàtica i dinàmica, tant en visió llunyana com propera.



Figura 6.4 WAM 5500

- **Creu de Malta** com a punt de fixació quan es mesura l'estat refractiu en visió llunyana per mantenir la visió llunyana estable.
- **Ordinador portàtil** per poder presentar els diferents tipus de text durant l'avaluació del retard acomodatiu (Figura 6.5).



Figura 6.5: Representació del muntatge per l'avaluació del retard acomodatiu

7. METODOLOGIA

En aquest apartat, en primer lloc es presenta breument les consideracions ètiques que s'han tingut en compte per la realització de l'estudi. Tot seguit s'especifica el disseny de l'estudi, els criteris de selecció de la mostra, així com es detallen els materials utilitzats per la realització de la part experimental. A continuació es detalla el protocol de desenvolupament de la presa de mesures de les proves i la interpretació dels registres.

7.1 Consideracions ètiques

Abans de començar amb un estudi que requereixi una part experimental en éssers humans, s'han de conèixer els requisits ètics, legals i jurídics. Aquests es troben a la Declaració de Hèlsinki de l'Associació Mèdica Mundial (AMM) (2008).

Abans de realitzar les proves ens hem d'assegurar que el subjecte ha entès tota la informació explicada. Després llegeix i firma el full del consentiment informat, que permet incloure el subjecte en l'estudi (Annex I).

En tot moment es respecta el dret dels participants, guardant la seva identitat i confidencialitat de les dades, d'acord amb la normativa espanyola ("Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre de Protección de Datos de Carácter Personal") i així com respectant el dret del participant a abandonar l'estudi si ho considera necessari.

7.2 Selecció de la mostra.

Es van establir uns criteris i condicions d'inclusió que haurien de complir els participants de l'estudi. Per això se'ls hi va realitzar una sèrie de preguntes que es van incloure dins la base de dades (nom i cognoms, edat, dades de contacte, presència d'estrabisme, ambliopia, cirurgia ocular, etc). També es va incloure quina era la refacció habitual i l'agudesa visual monocular en visió propera (Annex II).

Totes les mesures realitzades han tingut lloc a l'edifici Gaia de la Universitat Politècnica de Catalunya en el campus de Terrassa entre els mesos de Novembre i Desembre del 2015.

7.2.1 Material necessari per la selecció de la mostra i preparació de les proves

El material utilitzat per realitzar les proves de selecció de la mostra ha estat:

- Frontofocòmetre (Topcon CL-100) per determinar l'error refractiu dels subjectes que portaven prescripció optomètrica.
- Optotip d'agudesa visual en logMAR (Bailey – Lovie) per determinar agudesa visual en visió propera (VP).
- Optotip d'agudesa visual de lletres per determinar agudesa visual en visió llunyana (VL).
- Ocluser i barra de prismes per la valoració de la fòria horitzontal en visió llunyana i pròxima.
- Test Ishihara per la valoració de la visió del color.

- Estímul puntual (bolígraf) més una regla mil·limetrada per mesurar el punt proper de convergència (PPC).
- Estímul acomodatiu més una regleta mil·limetrada per mesurar el punt proper d'acomodació (PPA).
- Test Pelli-Robson per la valoració de la sensibilitat al contrast en visió llunyana.
- Luxòmetre per mesurar les condicions d'il·luminació i les luminàncies del fons i de les lletres dels textos.

7.2.2 Criteris d'inclusió i exclusió

A continuació és detallen els **criteris d'inclusió**:

- Edat compresa entre 19 – 25 anys.
- Agudesa visual (AV) monocular \geq a 20/30 amb la seva correcció en VL i VP.
- Defecte refractiu compensat inferior o igual ± 6 diòptries esfèriques (DE) i $\pm 3,50$ diòptries cilíndriques (DC).
- Desviació latent inferior a $1x \pm 2$ en VL i de $3x' \pm 5$ en VP segons Morgan.

I a continuació els **criteris d'exclusió**:

- Antecedents d'estrabisme i/o ambliopia.
- Antecedents de cirurgia ocular.
- Patologia ocular activa.
- Presentar dificultats amb la forma escrita del llenguatge (poc coneixement del català o castellà o dislèxia).
- Tractament d'ortoqueratologia actiu.
- Alteració en la visió al color i sensibilitat al contrast.
- Punt proper de convergència superior a 10cm.
- Punt proper d'acomodació superior a 10cm.

Tots els subjectes seleccionats complien aquests criteris d'inclusió i exclusió. Durant la realització de cadascuna de les proves es va controlar, la il·luminació del la sala, l'atenció dels pacients durant l'explicació de les proves i la comoditat dels pacients a l'hora de realitzar-les.

7.3 Disseny de l'estudi

Es tracta d'un estudi observacional, descriptiu i transversal de casos no consecutius.

7.4 Disseny de les proves

Per l'avaluació de la motilitat ocular en la lectura, es van desenvolupar les proves mitjançant el programa informàtic *Experiment Builder*. Aquestes van ser dissenyades basant-se en fragments del llibre de Paula Hawkins, la Chica del tren (Annex III). Els textos tenien una longitud de 10 línies, de les quals la primera no s'analitzava ja que coincideix amb l'inici de la lectura i es poden obtenir resultats erronis, i la última línia tampoc s'analitzava, ja que la seva longitud no era la mateixa per tots els textos, i podia influenciar al número de sacàdics, fixacions i regressions.

Per l'avaluació del retard acomodatiu es van utilitzar els mateixos textos que en la motilitat ocular.

Aquest estudi forma part d'un estudi més gran, en el que també s'analitzen la motilitat ocular durant la lectura i la resposta acomodativa en diferents condicions:

- Estudi amb prismes
- Estudi amb lents esfèriques
- Estudi amb filtres cromàtics

Les proves es van realitzar de manera aleatòria, disminuint així l'efecte de factors aliens a les proves, com el cansament. Per això, es van crear unes fitxes d'aleatorietat que el pacient, abans de realitzar les proves, havia de seleccionar una a l'atzar.

7.4.1 Característiques dels tests

Tots els textos utilitzats tenien en comú que constaven d'un total de 10 línies, la tipologia de lletra era una *Palatino* i tamany 12 punts, interlineat single i marges de 200 – 100 – 250 – 250 mm (superior, inferior, dreta i esquerra respectivament). A la Figura 7.1, es pot observar un exemple del text utilitzat.

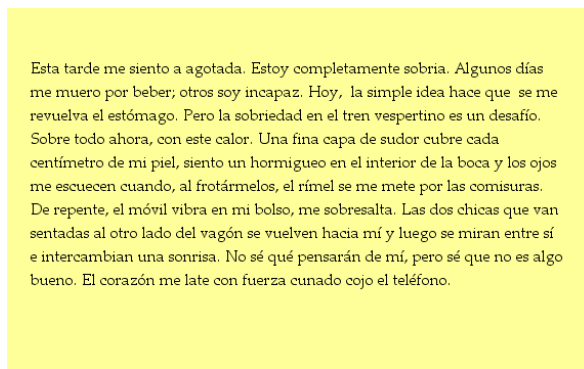


Figura 7.1: Mostra d'un text utilitzat en l'estudi les proves.

Per poder calcular el valor de contrast dels text s'ha utilitat un Luxòmetre per mesurar les condicions d'il·luminació i les luminàncies del fons i de les lletres dels texts. Per aquest darrer pas s'ha aplicat la següent fórmula:

$$K = (\text{Luminància de fons} - \text{Luminància text}) / \text{Luminància del fons}$$

Permetent-no així obtenir les característiques de cadascun dels texts, aquests es poden observar en la següent taula (Taula 7.1).

Test	Color de la lletra	Color de fons	Valors paràmetres RGB			Contrast
			R (red)	G (green)	B (blue)	
Normal	Negre	Blanc				0,998
Contrast Alt	Gris fosc	Blanc	102	102	103	0,66
Contrast Baix	Gris clar	Blanc	204	204	204	0,25
Invertit	Negre	Blanc				0,99
Blau	Negre	Blau	153	204	255	0,997
Groc	Negre	Groc	255	255	153	0,998

Taula 7.1: Característica textos utilitzats en l'estudi

En cada una de les proves sempre es van mantenir les mateixes condicions d'il·luminació fotòpiques (81,1 lux) amb llum artificial.

7.5 PROTOCOL DE MESURA

El procediment per la realització del estudi s'ha basat en una dos sessions on únicament s'inclouen els subjectes que complien els criteris d'inclusió esmentats anteriorment. A la primera sessió amb aquests se'ls hi explicava la finalitat del estudi i se'ls feia firmar el consentiment informat, posteriorment es procedia a realitzar les proves de motilitat ocular o de resposta acomodativa, i en la segona sessió es realitzava el bloc de proves que no havia fet amb la primera sessió.

7.5.1 Eye - tracker

Descripció i aplicació del test

El subjecte ha d'estar còmodament assegut, recolzant la barbata i el front a la mentonera amb la seva refracció habitual. Totes les proves es realitzaran en condicions binoculars.

El seu cap està posionat a una distancia de 105cm davant d'un monitor de visualització, que permet un rang de 32° horitzontals per l'enregistrament dels moviments oculars. En la Figura 7.2 es pot observar un subjecte realitzant les proves.



Figura 7.2 Representació de la prova amb un subjecte

Per complir amb el disseny de l'estudi, el registre dels moviments oculars amb cada un dels 7 tests sempre es va fer de manera aleatòria.

Protocol:

Per que les mesures siguin correctes, abans de començar amb la lectura dels texts cada pacient s'ha de realitzar primerament una calibració del sistema i tot seguit una validació d'aquests.

- **Calibració**

Abans de començar amb la calibració, s'indica al subjecte que ha d'estar assegut còmodament; i tant el front com la barbata han d'estar ben recolzats a la mentonera.

Un cop estigui preparat, cal comprovar que tres paràmetres apareixen a la pantalla de color verd: **Pupil**, indica l'àrea pupil·lar (ha d'estar entre 75 i 100), **Corneal**, indica l'estat de la còrnia, si es visible o no (inferior o igual a 230) i finalment el **Markers** que indica l'estat dels marcadors infrarojos.

A la figura 7.3 es representa la calibració d'un subjecte on s'observen les diferents posicions de mirada.

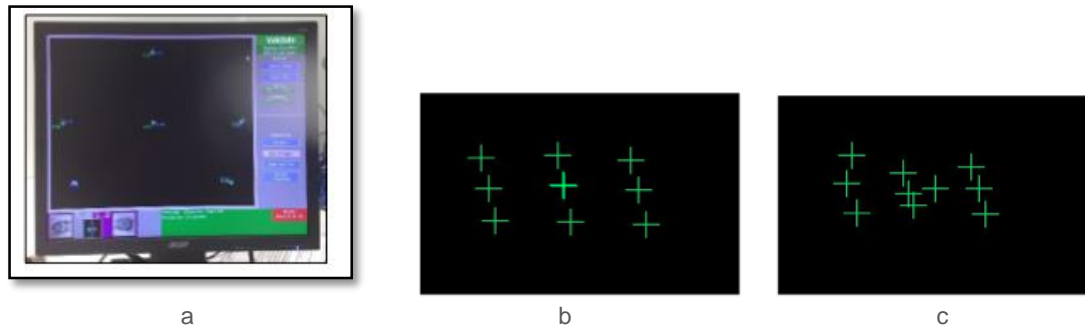


Figura 7.3 a) Representació de la calibració prèvia a la prova b) Representació d'una bona calibració c) Representació d'una calibració pobre

Tot seguit es calibra binocularment mitjançant el Host PC i el Eye Tracker. On s'indica al subjecte que veurà un estímul que s'anirà desplaçant per la pantalla en les diferents posicions de mirada. Mantenint el cap immòbil l'ha d'anar seguint l'estímul. La calibració permet identificar els punts de fixació dels diferents estímuls.

- **Validació**

La validació s'utilitza per mesurar les diferències entre la posició de fixació dels ulls i la posició calculada, obtenint així l'exactitud de mirada de la calibració. És molt important que si s'identifica algun problema durant la calibració, aquest s'ha de solucionar abans d'iniciar la prova.

Durant la validació és presentaran uns estímuls a la pantalla Display, semblants al procediment de la calibració. Quan el subjecte els fixa, la calibració estima la posició de la mirada del subjecte i l'error (diferència entre la posició real i la posició de la mirada).

- **Desenvolupament de les proves**

Un cop calibrat i validat correctament, ja es pot iniciar la presa de mesures amb els diferents textos de contrast i color de fons, sempre en un ordre aleatori.

S'indica al pacient que ha de mantenir el cap quiet i molt atent, amb els ulls ben oberts, tot i que pot parpadejar amb normalitat

També se l'indica que un cop comenci la prova, apareixeran un total de 7 textos, amb un ordre aleatori i amb diferents condicions de contrast i color. Un cop finalitzat cada un dels textos el subjecte haurà de polsar la barra espaiadora, on s'aprofitarà per fer-l'hi una pregunta breu i senzilla sobre el text que acaba de llegir. Un cop el pacient vulgui tornar a començar amb la lectura del següent text ha de tornar a polsar la barra espaiadora, i així successivament fins finalitzar amb totes les lectures.

A la Figura 7.4 es pot veure un subjecte en la fase prèvia, calibració, de les proves.

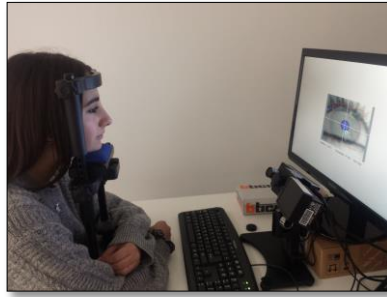


Figura 7.4: Representació del muntatge de l'eye tracker amb un subjecte mentre realitza la calibració

7.5.2 Retard acomodatiu

Descripció i aplicació del test

El subjecte ha d'estar còmodament assegut, recolzant la barbeta i el front a la mentonera.

Per poder modificar les condicions del retard acomodatiu (contrast i color), s'ha realitzat un petit muntatge que permet col·locar aquests textos amb les mateixes condicions que la motilitat ocular, és a dir amb una pantalla d'ordinador (Figura 7.5).

L'estímul de fixació en visió llunyana es troba situat a 6m del pacient, i el de visió propera a 50cm

Les condicions de llum són les mateixes que amb la motilitat ocular, llum artificial (81,1lux).

Les proves es realitzen sempre binocularment, però únicament valorem el retard acomodatiu de l'ull dret.

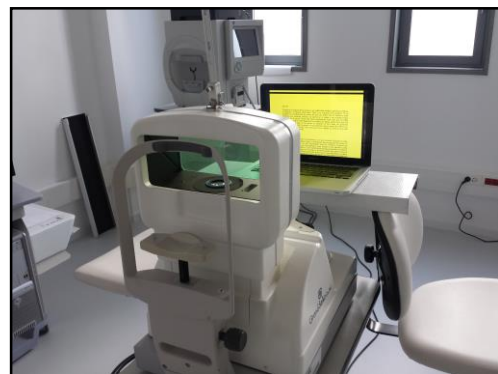


Figura 7.5 Representació del muntatge

Protocol:

Abans de començar amb les mesures, s'indica al subjecte que es senti còmodament.

Tot seguit el subjecte ha de fixar la mirada a un estímul, una creu de Malta (Figura 6.6) que es situarà al final de la sala (6m) i es realitzarà la presa de mesures de la refracció en visió llunyana.

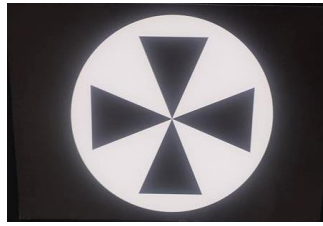


Figura 7.6 Creu de Malta

A continuació mitjançant un test d'AV o els diferents textos utilitzats per la mesura de la motilitat ocular és realitzaran les mesures de la refracció en visió propera. Sempre amb un ordre aleatori.

A la Figura 7.7 podem observar un subjecte realitzant la prova del retard acomodatiu.

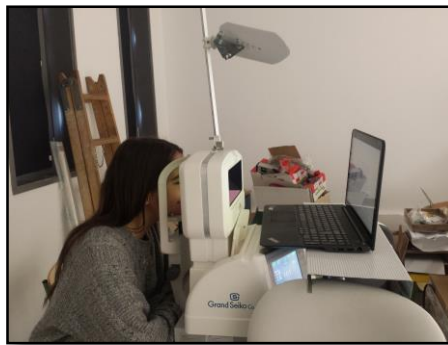


Figura 7.7 Representació de la prova amb un subjecte

Amb aquestes dues dades obtenim el valor del retard acomodatiu.

8. OBTENCIÓ I INTERPRETACIÓ DE REGISTRES

En aquest apartat s'explica el procés d'obtenció de les dades obtingudes amb el sistema de l'eye tracker un cop realitzades les proves, el tractament d'aquestes i el tipus d'informació que proporciona el eye tracker.

8.1 Obtenció dels resultats

Per obtenir les dades necessàries per poder avaluar la motilitat ocular, hem extret tres tipus diferents d'Excels: un corresponent a moviments sacàdics, un a fixacions i un amb les dades genèriques del test. Aquests tres excels eren extrets per cadascuna de les set condicions d'estudi, és a dir, per cada pacient s'extreien un total de 21 Excels.

En aquests excels s'obté la següent informació:

- **Output Trial:** Excel amb la recopilació de les dades genèriques del test. Inclou els moviments ocular que es realitzen abans i després de la lectura.

Aquest primer Excel es pot observar a la Figura 8.1. En aquest obtenim un total de 10 columnes, amb la següent informació: número identificador del subjecte, duració total de la lectura, ull utilitzat, número de fixacions, tamany pupil·lar, número de sacàdics, temps d'inici i temps final de lectura, duració de les fixacions i amplitud dels moviments sacàdics.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	RECORDING	DURATION	EYE_USED	FIXATION_CC	PUPIL_SIZE	SACCADE_CC	START_TIME	END_TIME	AVERAGE_FI	AVERAGE_SACCADE	AMPLITUDE	
2	id20	62443	RIGHT	190	874.53	189	6002540	6064983	293.13	2.82		
3	id20	38515	RIGHT	125	762.55	124	6065050	6103565	280.11	2.55		

Figura 8.1: Output Trial. Fulla d'Excel que obtenim amb Eye Link Plus 1000

- **Fixation report:** Excel amb la recopilació de les dades relacionades amb les fixacions realitzades durant la lectura. És important tenir en compte el temps d'inici de lectura de la segona línia i el final de la novena.

Podem veure l'exemple d'un d'aquests Excels a la Figura 8.2. En aquest obtenim un total de 6 columnes, amb el número identificador del subjecte, ull utilitzat, inici i final de cada fixació i número del text que està avaluant.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	RECORDING	EYE_USED	CURRENT_FI	CURRENT_FI	CURRENT_FI	CURRENT_FI	TRIAL_INDEX		
2	id4	RIGHT	109	5090	5198	.	1		
3	id4	RIGHT	325	5216	5540	.	1		
4	id4	RIGHT	287	5556	5842	.	1		
5	id4	RIGHT	159	5857	6015	.	1		

Figura 8.2: Fixation Report. Fulla d'Excel que obtenim amb Eye Link Plus 1000

- **Saccade report:** Excel amb la recopilació de les dades relacionades amb els moviments sacàdics realitzats durant la lectura.

Mitjançant aquest Excel podem obtenir la informació dels moviments sacàdics, les regressions i els canvis de línia. És important tenir en compte el temps d'inici de lectura de la segona línia i el final de la novena.

REGISTRES

Aquest Excel es pot observar a la següent Figura 8.3. Obtenim un total de 11 columnes, on apareix el número identificador del subjecte, el número del text que està avaluant, duració del sacàdic, ull que s'està avaluant, temps d'inici i final, posició d'inici i final, en X i en Y del moviment.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	RECORDING	TRIAL_INDEX	CURRENT_SF	EYE_USED	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF	CURRENT_SF
2	id4	1	19	RIGHT	214	369.20	313.40	232	411.50	314.80	RIGHT	60.60	1.15	73.69		
3	id4	1	20	RIGHT	425	414.50	317.40	444	381.20	281.80	LEFT	58.07	1.16	65.84		
4	id4	1	24	RIGHT	488	377.00	271.20	511	303.00	230.80	LEFT	90.17	2.16	114.58		
5	id4	1	13	RIGHT	620	297.40	225.80	632	266.60	226.90	LEFT	63.80	0.83	63.80		

Figura 8-3: .Saccade Report. Fulla d'Excel que obtenim amb Eye Link Plus 1000

8.2 Caracterització dels moviments oculars en la lectura

En els Excels obtinguts anteriorment, es pot caracteritzar els paràmetres que ens permeten definir una fixació, un sacàdic, una regressió o un canvi de línia.

8.2.1 Caracterització del text total

Els paràmetres que analitzarem per cadascun dels texts son:

- Temps inicial
- Temps final
- Duració total de la lectura
- Número total de fixacions
- Durada de les fixacions
- Número total de moviments sacàdics
- Amplitud dels moviments sacàdics
- Mesura del diàmetre pupil·lar

8.2.2 Caracterització de les fixacions

Els paràmetres que analitzarem per les fixacions son:

- Número total de fixacions
- Duració
- Amplitud

8.2.3 Caracterització dels moviments sacàdics

Els paràmetres que estudiem pels moviments sacàdics, les regressions i els canvis de línia son per cada un d'ells:

- Número total
- Duració
- Amplitud
- Amplada en X
- Amplada en Y
- Velocitat
- Velocitat màxima

L'Eye Tracker pot identificar que el pacient està realitzant un moviment ocular mitjançant tres mecanismes diferents:

- Velocitat: es recomana treballar amb un umbral de velocitat de 30°/segons.

REGISTRES

- Acceleració: permet detectar els moviments sacàdics de petita amplitud. El llindar recomanat és de $8000^{\circ}/\text{seg}^2$.
- Posició de la mirada: es recomana treballar amb un paràmetre entre 0.1 i 0.2° . Nosaltres hem utilitzat un valor intermig, corresponent a 0.15° .

8.3 Tractament de les dades

Un cop hem obtingut els excels esmentats anteriorment, cal seleccionar o calcular les dades necessàries per tal de poder realitzar l'anàlisi de resultats.

Aquest procés s'ha realitzat de forma manual.

8.3.1 Selecció dels paràmetres a analitzar

Tal i com ja s'ha comentat anteriorment, l'anàlisi es realitzarà des de la segona línia fins la novena. Això es realitza a partir de la pantalla on es mostren els resultats dels registres oculars, identificant la primera fixació de la segona línia i la última de la novena (Figura 8.4). D'aquesta manera es pot conèixer el temps de quan es realitzen.

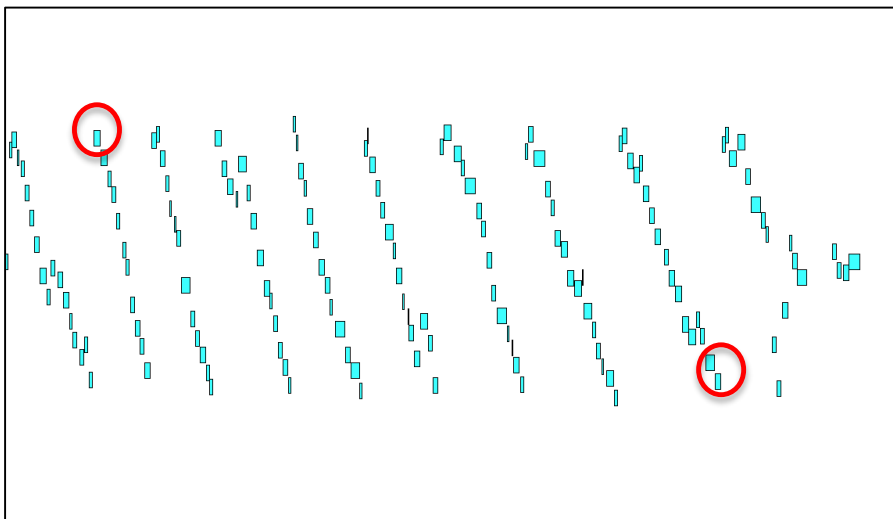


Figura 8.4: Selecció inici i final del anàlisi

8.3.2 Selecció dades de les fixacions

Les dades que necessitem per l'estudi (número, duració i amplitud) de les fixacions els obtenim directament de l'excel, *Fixation_report* (Figura 8.2).

8.3.2 Selecció dades dels moviments oculars

Per determinar si ens trobem davant d'un moviment sacàdic, d'una regressió o un canvi de línia, cal fixar-nos amb la direcció d'aquets. Aquest paràmetre apareix identificat a la columna *Current_saccade*.

Si la direcció d'aquets moviments és cap a la dreta, indicats com a *Right* a la columna, ens trobarem davant de moviments sacàdics.

REGISTRES

En canvi si la direcció és cap a l'esquerra, *Left*, és pot tractar tant de moviments de regressió com de canvis de línia. Per diferenciar entre aquests dos cal fixar-nos amb les amplituds en X d'aquets moviments.

Per obtenir l'amplitud en X cal realitzar la següent operació:

$$Current_sac_end_X - Current_sac_start_X$$

Si el resultat d'aquesta resta és un valor aproximat de 400 – 450 píxels o la seva suma dona aquests valors és tractarà de canvis de línia. Si el valor de l'amplitud és inferior a 400 – 450 píxels, es tractarà de regressions.

9. RESULTATS

En aquest apartat es presenta els resultats obtinguts de l'estudi, tant de l'autorefractometre de camp obert WAM – 5500 com de l'EyeTracker Eye Link 1000 plus, seguint la metodologia que s'ha descrit en l'apartat anterior i la seva interpretació.

En primer lloc es detalla com s'han tractat les dades, i en segon lloc es fa un anàlisi descriptiu de la mostra i finalment es procedeix a l'anàlisi estadístic dels resultats.

9.1 Tractament de dades

Amb els resultats obtinguts per cada una de les diferents proves es va dissenyar dos bases de dades, una pels resultats obtinguts de l'Eye Link (Taula 9.1) i l'altra pels resultats del WAM (Taula 9.2). Aquestes bases de dades tenien les següents característiques:

CARACT PACIENT	TEXT TOTAL	FIXACIONS	SACÀDICS	REGRES-SIONS	CANVIS LINIA
Número identificador (ID)	Duració total (s)	Número Duració (ms)	Número Duració (ms)	Número Durada (ms)	Número Durada(ms)
Realització WAM (Si/No)	Número de fixacions	Amplitud (°)	Amplitud (°)	Amplitud (°)	Amplitud (°)
Sexe	Tamany pupila (Píxels)		Amplada X (nº píxels)	Amplada X (nº píxels)	Amplada X (nº píxels)
Edat	Número de sacàdics		Amplada Y (nº píxels)	AmpladaY (nº píxels)	AmpladaY (nº píxels)
Condicció del test	Temps inici (ms)		Velocitat (°/seg)	Velocitat(°/seg)	Velocitat(°/seg)
	Temps final(ms)		Velocitat màxima(°/seg)	Velocitat màxima(°/seg)	Velocitat màxima(°/seg)
	Duració de les fixacions (ms)				
	Amplada dels sacàdics (nº píxels)				

Taula 9.1: Descripció de la base de dades dels resultats del Eye-tracker

CARACTERÍSTIQUES DEL PACIENT	RETARD ACOMODATIU
Número identificador (ID)	Esfera en visió llunyana Cilindre en visió llunyana
Realització d'EYE LINK (Si/No)	Esfera en visió propera Cilindre en visió propera
Sexe	Equivalent esfèric en visió llunyana
Edat	Equivalent esfèric en visió propera
Condicció del test	Retard acomodatiu

Taula 9.2: Descripció de la base de dades dels resultats del WAM

Per realitzar l'anàlisi estadístic dels resultats d'aquest treball, s'ha utilitzat el programa estadístic SPSS (Statistical Product and Service Solutions), versió 21.

L'anàlisi del tractament de les dades que es durà a terme és el següent:

- **Anàlisi de la repetibilitat** de la prova, mitjançant la T-Student entre les variables de les condicions *habituals 1 i 2*. En aquest cas seleccionarem una d'elles per comparar-la amb la resta de condicions, mitjançant les correlacions bivariades.

- **Anàlisi descriptiu** de les variables cadascuna de les proves que s'han realitzats als subjectes i els paràmetres analitzats. S'obté la mitjana dels resultats, la desviació estàndard i els valors màxims i mínims de cada mostra

- Anàlisi de les diferències de les mitges entre les variables estudiades comparant entre les diferents condicions de realització de la prova, és a dir l'efecte del contrast i l'efecte del color de fons, mitjançant el anàlisi de la variància (**ANOVA**), que permet comparar diferents grups en una variable quantitativa. En el cas de trobar alguna diferència significativa s'aplica el **post-hoc de Bonferroni**.

9.2 MOTILITAT OCULAR

9.2.1 Descripció de la mostra

Les mesures es van realitzar a un total de 25 subjectes d'edats compreses entre els 18 i 25 anys. És va seleccionar una mostra homogènia respecte l'edat, ja que s'ha demostrat que l'habilitat oculomotriu experimenta canvis amb l'edat.

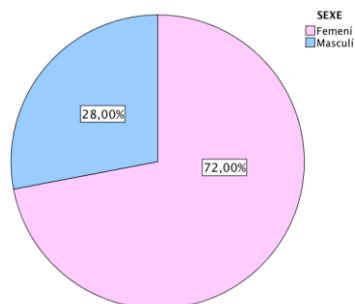
En la següent taula (Taula 9.3) es descriuen la mitja d'edat de la mostra, la desviació estàndard i els valors màxims i mínims.

Promig d'edat (anys)	Desviació estàndard (Sd) (anys)	Màxim (anys)	Mínim (anys)
21,72	±2.24	25	18

Taula 9.3: Descriptiu del l'edat de la mostra

El total de subjectes participants en l'estudi inclou 18 dones (72%) i 7 homes (28%), representats en el següent diagrama (Gràfica 9.1) de sectors. Aquesta diferència és deguda a que els subjectes de l'estudi van ser estudiants de la facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa, on la gran majoria d'estudiants son noies.

Tot i que no existeixen evidències prèvies que ens faci pensar que existeixen diferències entre l'habilitat de la motilitat entre homes i dones, prèviament a realitzar el anàlisi de cada prova comprovarem existeixen diferències significatives entre els sexe en els resultats.



Gràfic 9.1: Descriptiu del sexe de la mostra

9.2.2 Anàlisi dels resultats

Prèviament a començar amb el anàlisi dels resultats dels resultats de la motilitat ocular, comprovarem si existeix alguna diferència respecte el sexe.

El valor de p, significació que obtenim és més gran a 0,05 per totes les variables ($p > 0,05$) i per tant les diferències entre els sexes no son significatives i procedim a analitzar els resultats de la prova sense tenir en compte la variable sexe.

Primer comprovem mitjançant l'anàlisi de la T-Student si existeix alguna diferència entre els resultats obtinguts per les variables de les dues condicions habituals, i obtenim un valor de significació (p) més gran a 0,05 ($p > 0,05$), per totes les variables.

Per tant podem afirmar que no hi ha diferències estadísticament significatives entre els resultats entre les condicions habituals i son repetibles, per tant únicament utilitzarem l'habitual 1 per realitzar les comparacions

Anàlisi descriptiu de les variables de l'habitual

Primer de tot realitzarem un anàlisi descriptiu per la condició habitual amb els resultats obtinguts directament de l'Eye – tracker.

A més a més per poder caracteritzar la motilitat ocular a la lectura i comparar els resultats del nostre estudi amb els obtinguts per altres autores, hem d'utilitzar paràmetres independents de la longitud del text, també afegits a la Taula 9.4 i indicats amb un asterisc (*). Aquests paràmetres no depenen de la longitud del text.

Els paràmetres que utilitzarem son els següents:

- Per les **fixacions**:
 - Número de fixacions amb 100 paraules.
 - Freqüència de les fixacions per segons.
 - Amplitud en número de caràcters (lletres i espais).

- Per **sacàdics**:
 - Freqüència per segon.
 - Amplitud en número de caràcters (lletres i espais).
- Per **regressions**:
 - Percentatge de regressions respecte moviments sacàdics.
 - Freqüència per segon.
 - Amplitud en número de caràcters (lletres i espai).

Número promig de paraules dels nostres textos: 115,80 ± 3,72

Número promig de caràcters dels nostres textos: 623,29 ± 9,76

Totes aquestes variables analitzades es mostren amb la seva mitja, desviació estàndard i el seu valor mínim i màxim.

	Variable	Mitja	Desviació estàndard (sd)	Mínim	Màxim
TEXT TOTAL	Durada Lectura (s)	34,33	± 5,48	25,85	47,64
	Durada lectura 8 línies (s)	27,55	±5,45	17,85	39,64
FIXACIONS	Número	112,28	± 18,8	69	160
	Número per 100 paraules *	96,91	± 16,22	59,55	138,10
	Durada (ms)	219,35	±27,70	176,70	292,83
	Amplitud (°)	5,60	±1,45	3,25	8,91
	Amplitud per caràcters*	5,71	±1,04	3,90	9,03
	Freqüència fixacions per segon*	4,11	±0,46	2,81	5,29
SACÀDICS	Número	72,68	±13,06	45	99
	Número per 100 paraules*	62,73	±11,27	38,84	85,45
	Durada (ms)	21,24	±13,06	16,09	26,91
	Amplitud (°)	1,55	±0,27	1,13	2,05
	Amplitud per caràcters*	8,89	±1,87	6,30	13,85
	Amplitud X (nº píxels)	56,48	±3,28	41,48	75,76
	Amplitud Y (nº píxels)	-1,47	±1,84	-4,96	3,36
	Rati*	36,44	±1,66	28,60	38,01
	Velocitat mitja (°/seg)	71,50	±5,38	60,45	82,96
	Velocitat máx (°/seg)	106,76	±16,7	82,85	145,46
	Freqüència de sacàdics per segon*	2,69	±0,49	1,59	3,56

REGRESSIONS	Número	15,88	±9,73	3	36
	Número per 100 paraules*	13,71	±8,40	2,59	31,07
	Percentatge respecte sacàdics*	17,38	±9,31	3,8	38,37
	Durada (ms)	17,74	±6,12	11,33	37,05
	Amplitud X (nº píxels)	-36,32	±7,56	-57,18	-25,67
	Amplitud Y (nº píxels)	0,50	±2,26	-3,76	5,67
	Velocitat mitja (º/seg)	60,1	±9,42	38,39	91,83
	Velocitat màx (º/seg)	80,54	±20,45	57,78	155,88
	Freqüència de regressions per segon*	0,55	±0,31	0,12	1,26
CANVIS DE LÍNEA	Número	8,16	±1,7	7	14
	Durada (ms)	69,60	±11,40	40,21	93,75
	Amplitud X (nº píxels)	-410,76	±56,43	-460,94	-215,74
	Amplitud Y (nº píxels)	21,25	±9,36	3,24	41,14
	Velocitat mitja (º/seg)	161,21	±16,74	134,08	197,01

Taula 9.4 : Taula descriptiva de les variables de la condició habitual

* Variables caracteritzades per l'habitual

Correlacions entre les variables de l'habitual

A l'Annex IV es poden veure totes les variables que s'han utilitzant en l'estudi. Les que estan correlacionades estan especificades amb color verd. Aquests resultats es basen amb l'anàlisi de la condició Habitual.

En aquest anàlisi de les correlacions entre les variables de l'habitual podem observar que la variables que tenen una major correlació son el temps total de lectura i el número de fixacions

Una variació en el nombre de fixacions pot fer variar el temps total de la lectura (on a major nombre de fixacions major temps total de lectura) i el número de regressions (a major nombre de fixacions major número de regressions).

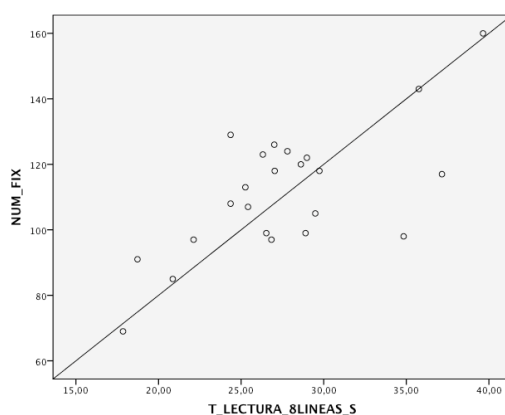
Si ens centrem amb l'anàlisi del temps de lectura, ja que és una de les variables amb més importància, veiem que te correlacions significatives (>0,50) amb (Taula 9.5):

- Número de fixacions i número de fixacions per 100 paraules (Gràfica 9.2),
- Amplitud de les fixacions en caràcters
- Freqüència de les fixacions per segon
- Amplada de les fixacions per caràcter
- Freqüència sacàdics / segon
- Número de regressions i número de regressions per 100 paraules (Gràfica 9.3)

Variable / Correlació n de Pearson (Sig. (bilateral))	Número de fixacions i Número de fixacions per 100 paraules	Amplitud Fixacions en caràcters	Freqüència Fixacions / segon	Freqüència sacàdics /segon	Número de regressions i Núm Regression s 100 paraules
Durada lectura	0,693 ,000	-0,674 ,000	-0,507 ,014	-0,512 ,013	0,553 ,000

Taula 9.5 : Taula correlacions significatives entre durada del text i diferents variables de la condició habitual.

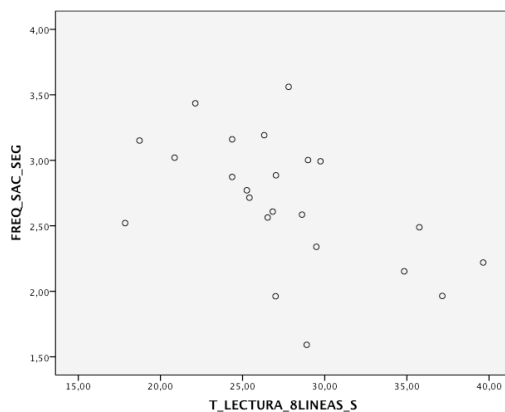
Tal i com s’observa amb la taula anterior el **número de fixacions i el número de fixacions per 100 paraules** tenen una correlació positiva amb la durada de la lectura, $r=0,693$. Ja que aquest valor és positiu, ens indica que aquestes variables mantenen una direcció directa, és a dir com més gran sigui el número de fixacions més gran serà el valor de durada de la lectura . Aquesta relació també és pot observar en la Gràfica 9.2.



Gràfic 9,2: Correlació entre Temps lectura i Número de fixacions

Com ja s’ha comentant anteriorment a major número de fixacions, major durada de la lectura, i això es pot relacionar amb una menor **amplitud de fixacions en caràcters** ($r=-0,674$) i amb una menor **freqüència de fixacions per segon** ($r=-0,507$). Les dues variables tenen una correlació negativa, és a dir a major valor d’una correspon menors valors de l’altra i viceversa.

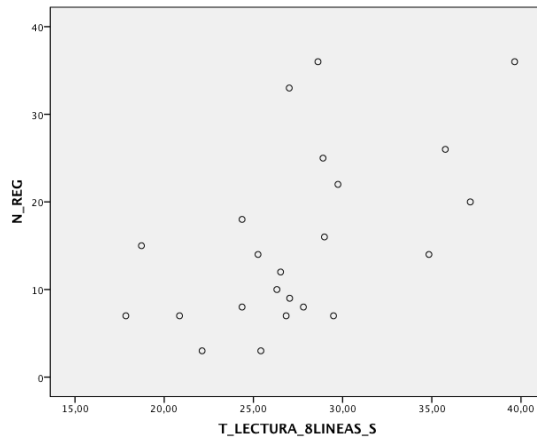
Tot seguit si ens fixem amb la **freqüència de sacàdics per segon**, observem que té una correlació negativa amb la durada de lectura, $r=-0,512$. El signe negatiu ens indica que aquestes dues variables mantenen una direcció indirecta, és a dir com més gran sigui el valor de la durada de la lectura menor serà el valor de la freqüència de sacàdics / segon. Aquesta relació també es pot observar en la Gràfica 8.3.



I

Gràfic 9.3: Correlació entre Temps lectura i freqüència de sacàdics per segon

finalment l'últim paràmetre que té una correlació significativa amb la duració de la lectura és el **número de fixacions**. Aquesta correlació és positiva, amb un valor de $r=0,553$, el que ens indica que a dir a major número de fixacions major duració de la lectura.



Gràfic 9.4: Correlació entre Temps lectura i número de regressions

Anàlisi del efecte del contrast

Tot seguit mitjançant el anàlisi de l'ANOVA realitzem una comparació entre la condició habitual i les condicions amb els diferents contrastos (mig, baix i invertit).

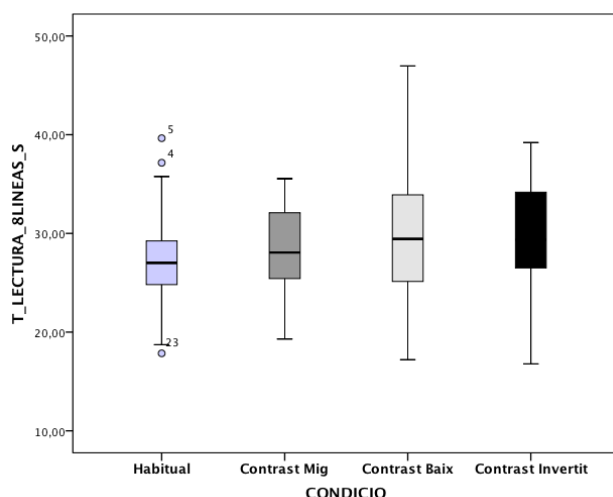
El valor de significació, p , en les següents variables és més petit de 0,05 i per tant ens indica que hi ha diferències estadísticament significatives:

- Tamany pupil·lar, $p < 0,01$
- Amplitud de les fixacions ($^{\circ}$), $p < 0,01$
- Duració dels sacàdics, $p = 0,058$
- Velocitat dels canvis de línia, $p < 0,01$

Per tant per tots aquets paràmetres, on el valor de significació (p) és inferior a 0.05, realitzem el anàlisi del POST-HOC de Bonferroni (Annex), que ens permet saber entre quins grups hi ha aquestes diferències (Taules 9.6)

- Durada total de la lectura:

Primer de tot, tot i que no trobem diferències estadísticament significatives ens centrarem amb el temps total de la lectura, on observem que el temps de durada de la lectura en la condició habitual sempre és menor que amb les altres condicions, ja que la diferència de la mitja té un valor negatiu.



Gràfic 9.5: Gràfic durada total de la lectura p per les diferents condicions de contrast

A la gràfica anterior (Gràfic 9.5) és pot observar que les distribucions entre les diferents condicions és similar. També s’observa que la condició que presenta més dispersió és la de contrast baix

- Tamany pupil·lar:

El tamany pupil·lar (amb píxels) presenta diferències significatives entre totes les condicions (habitual, contrast mig i contrast baix) amb el contrast invertit, ja que el valor de significació p és <0,001.

En aquest darrer tal i com era d’esperar el tamany pupil·lar és més gran, ja que ens trobem davant d’un fons negre.

- Amplitud de les fixacions

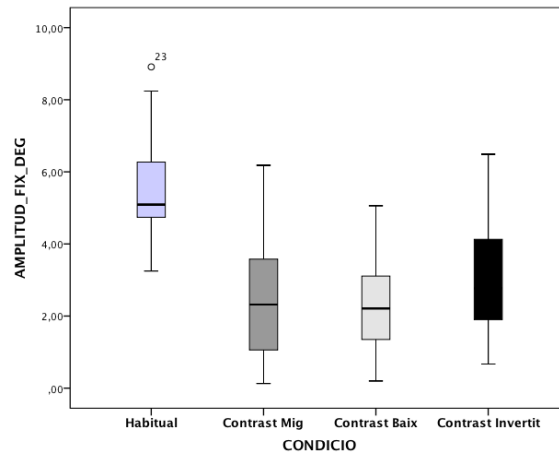
L’amplitud de les fixacions presenta diferències estadísticament significatives entre la condició habitual i totes les altres condicions (Taula 9.6).

El valor de l’amplitud en graus, és més gran en la condició habitual que en totes les altres condicions, ja que la diferència de la mitja és positiva.

		Comparació amplitud (º) de les fixacions	
Comparació de la condició	Amb condició	Diferència de la mitja	p(significació estadística)
Habitual	C. Mig	3,20	<0,01
	C. Baix	3,30	<0,01
	C. Invertit	2,49	<0,01

Taula 9.6: Taula diferències significatives entre l’amplada de les fixacions.

Aquesta diferència també és pot observar en la Gràfica 8.6, on s’observa que l’amplitud de les fixacions (º) de l’habitual tenen un valor major.



Gràfic 9.6: Gràfic amplitud de les fixacions (°) per les diferents condicions de contrast

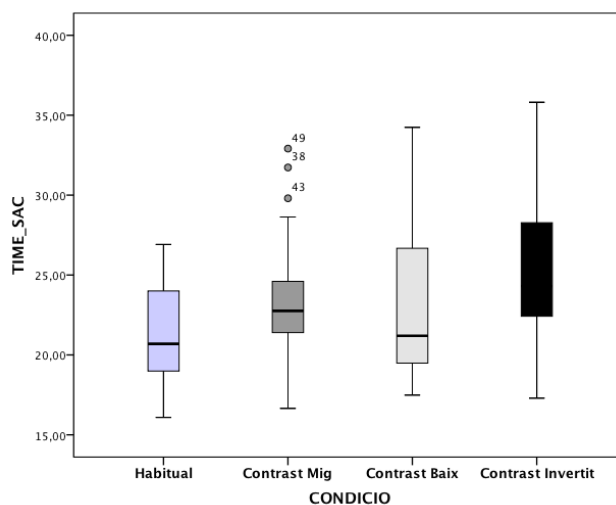
- Duració dels sacàdics

La duració dels moviments sacàdics presenta una tendència a presentar diferències estadísticament significatives entre la condició habitual i la condició de contrast invertit. La diferència de la mitja de la variable, és negativa, per tant ens indica que la duració dels moviments sacàdics és major en la condició de contrast invertit que amb l'habitual (Taula 9.7)

		Comparació Durada dels Sacàdics	
Comparació de la condició	Amb la condició	Diferència de la mitja	p(significació estadística)
Habitual	C. Invertit	-4,52	0,058

Taula 9.7: Taula diferències significatives entre la durada de les fixacions

Aquesta diferència també es pot observar a la Gràfica 9.7 on es pot observar que la mitja de la variable per les diferents condicions. També s'observa que la condició que presenta més dispersió és la de contrast baix i el contrast invertit



Gràfic 9.7: Gràfic durada total dels sacàdics per les diferents condicions de contrast

Per tant, trobem diferències estadísticament significatives respecte:

- Tamany pupil·lar és més gran amb la condició de Contrast Invertit
- L'amplitud de les fixacions és major en totes les condicions de contrast que en l'habitual.
- Duració sacàdics, és més gran en l'habitual que en el Contrast invertit

Anàlisi de l'efecte del color de fons

Tot seguit mitjançant el anàlisi de l'ANOVA realitzem una comparació entre la condició habitual i les condicions amb els diferents color de fons (blau i groc).

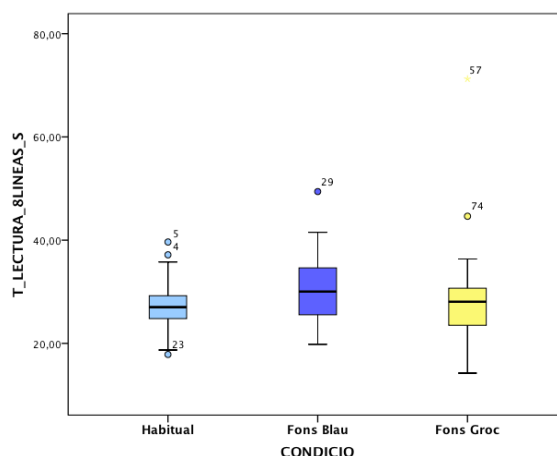
El valor de significació, p, en les següents variables és més petit de 0,05 i per tant ens indica que hi ha diferències estadísticament significatives:

- Amplitud de les fixacions (°), $p < 0,01$
- Número de sacàdics, $p < 0,01$
- Número de sacàdics per 100 paraules, $p < 0,01$
- Duració dels sacàdics, $p = 0,005$
- Amplitud dels sacàdics amb caràcters, $p < 0,01$
- Freqüència dels sacàdics per segon, $p = 0,006$

Per tant per tots aquets paràmetres, on el valor de significació (p) és inferior a 0.05, realitzem el anàlisi del POST-HOC de Bonferroni (Annex), que ens permet saber entre quins grups hi ha aquestes diferències (Taules 9.6)

- Durada total de la lectura:

Primer de tot, tot i que no trobem diferències estadísticament significatives ens centrarem amb el temps total de la lectura, on observem que el temps de durada de la lectura en la condició habitual sempre és menor que amb les altres condicions, ja que la diferència de la mitja té un valor negatiu.



Gràfic 9.9: Gràfic durada total de la lectura p per les diferents condicions de color de fons

A la gràfica anterior (Gràfic 9.9) és pot observar que les distribucions entre les diferents condicions és similar. També s'observa que la condició que les condicions amb el color de fons diferent al blanc presenten més dispersió de resultats.

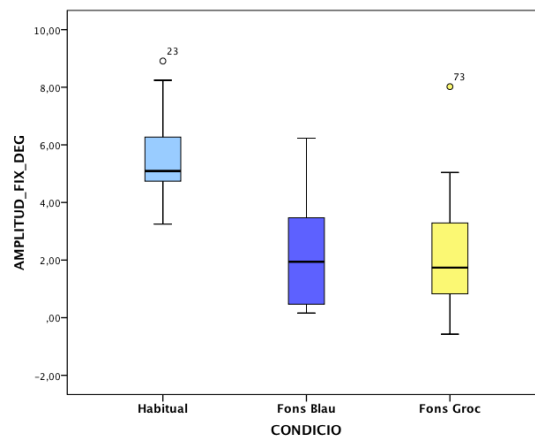
- Amplitud de les fixacions

L'amplitud de les fixacions presenta diferències estadísticament significatives entre la condició habitual i totes les altres condicions (Taula 9.9).

El valor de l'amplitud en graus, és més gran en la condició habitual que en totes les altres condicions, ja que la diferència de la mitja és positiva,

		Comparació amplitud (º) de les fixacions	
Comparació de la condició	Amb la condició	Diferència de la mitja	p(significació estadística)
Habitual	F. Blau	3,27	<0,01
	F. Groc	3,35	<0,01

Taula 9.9: Taula diferències significatives entre la durada de les fixacions.



Gràfic 9.10: Gràfic amplitud de les diferents condicions de color de fons

A la gràfica anterior (Gràfic 9.10) és pot observar que l'amplitud en graus de l'habitual és major que en les altres dues condicions, fons blau i fons groc. També s'observa que la condició que les condicions amb el color de fons diferent al blanc presenten més dispersió de resultats.

- Número, duració, velocitat, número total i amplitud dels Sacàdics

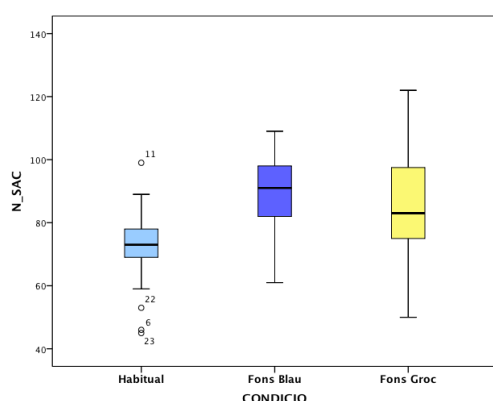
Comparació de la condició	Amb la condició	Comparació Número dels Sacàdics		Comparació Número dels Sacàdics per 100 paraules		Comparació amplitud Sacàdics Caràcters	
		Diferència de la mitja	p(significació estadística)	Diferència de la mitja	p(significació estadística)	Diferència de la mitja	p(significació estadística)
Habitual	F. Blau	-17,00	<0,01	-14,67	<0,01	-1,80	<0,01
	F. Groc	-13,36	0,011	-11,53	0,011	-	-

Comparació de la condició	Amb la condició	Comparació duració dels Sacàdics		Comparació de la velocitat dels Sacàdics		Comparació freqüència dels sacàdics per segon	
		Diferència de la mitja	p(significació estadística)	Diferència de la mitja	p(significació estadística)	Diferència de la mitja	p(significació estadística)
Habitual	F. Blau	-5,25	0,006	5,4	0,016	-	-
	F. Groc	-	-	-	-	-0,5	0,032

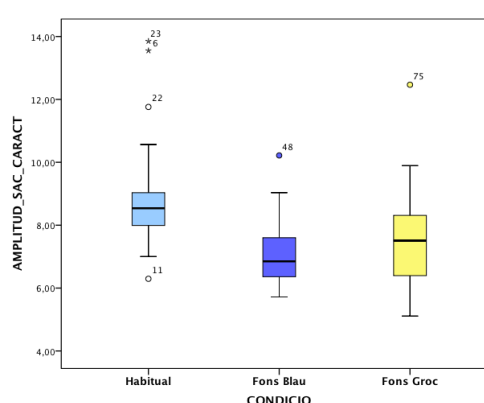
Taula 9.9 Taula diferències significatives entre el número, duració, velocitat, número total i amplitud dels sacàdics.

Tal i com es pot veure en la taula anterior (Taula 9.9) obtenim diferències estadísticament significatives, respecte el número de sacàdics, número de sacàdics per 100 paraules, amplitud en caràcters, la duració d'aquests, la velocitat, el número de total i freqüència dels sacàdics per segon.

Tant amb la condició de fons blau com amb la de fons groc, és produeixen un major **número** de sacàdics respecte la condició habitual (Gràfic 9.11) L'**amplitud** d'aquets moviments presenta diferències estadísticament significatives respecte el blau i l'habitual, aquests són més grans amb el fons blau (Gràfic 9.12)



Gràfic 9.11: Gràfic del número de sacàdics de les diferents condicions de color de fons



Gràfic 9.12: Gràfic de l'amplitud (°) de sacàdics de les diferents condicions de color de fons

Respecte la **duració** únicament trobem diferències estadísticament significatives entre l'habitual i la condició amb el fons de color blau ($p=0,006$) on els moviments sacàdics tenen més durada.

Respecte la **velocitat** d'aquests moviments, observem que únicament existeixen diferències estadísticament significatives, un cop més, entre l'habitual i la condició amb el fons blau ($p=0,016$). Els moviments sacàdics amb l'habitual tenen més velocitat que no amb el fons blau.

Finalment observem que la freqüència dels sacàdics per segon existeixen diferències estadísticament significatives per la condició fons groc respecte la d'habitual, en aquesta primera condició, fons groc, la freqüència és major, és a dir és produeixen més número de sacàdics per segon en el fons groc.

Per tant, trobem diferències estadísticament significatives respecte:

- L'amplitud de les fixacions del fons blau i fons groc augmenta respecte l'habitual.
- Observem que tant amb el fons blau com amb el fons groc és realitzen més moviments sacàdics que en la condició habitual. Per ser exactes un 23% i un 18% més respectivament. Per tant podríem considerar que aquets resultats també són clínicament significatius.
- Els moviments sacàdics del fons blau tenen major amplitud, major duració i menys velocitat que en la condició habitual.

9.3 Retard acomodatiu

9.3.1 Descripció de la mostra

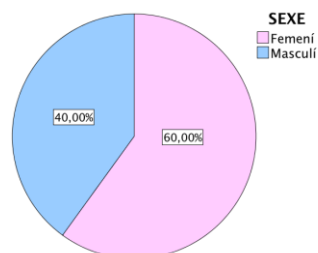
Les mesures es van realitzar a un total de 20 subjectes d'edats compreses entre els 18 i 25 anys.

En la següent taula (Taula 9.10) es descriuen la mitja d'edat de la mostra, la desviació estàndard i els valors màxims i mínims.

Promig d'edat	Desviació estàndard (Sd)	Màxim	Mínim
21,30	±1,93	25	18

Taula 9.10: Descriptiu del l'edat de la mostra

El total de subjectes participants en l'estudi inclou 12 dones (60%) i 8 homes (40%), representats en el següent diagrama (Gràfica 9.13) de sectors. Aquesta mostra un gran percentatge de dones que han participat en l'estudi per això prèviament a realitzar el anàlisi de cada prova comprovarem si hi ha diferències significatives entre els sexe en els resultats.



Gràfic 9.13: Descriptiu del sexe de la mostra

9.3.2 Anàlisi dels resultats

Prèviament a començar amb el anàlisi dels resultats dels resultats del Retard acomodatiu, comprovarem si existeix alguna diferència respecte el sexe.

El valor de p, significació que obtenim és més gran a 0,05 ($p > 0,05$) i per tant les diferències entre els sexes no son significatives i procedim a analitzar els resultats de la prova sense tenir en compte la variable sexe.

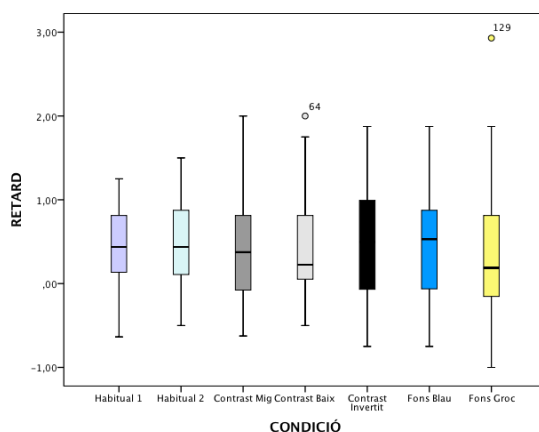
Anàlisi descriptiu

A la Taula 9.9 hi han representats els resultats de la mitja, la desviació estàndar (sd) (que representa com de dispersos estan les dades respecte a la mitja) i els percentils (P25, P50 i P75) per cadascuna de les condicions.

Resultats Retard acomodatiu							
Condicció	Mitja	SD	IC 95%		Percentils		
			Lim Inf	Lim. Sup	P. 25	P.50	P.75
Habitual	0,4148	0,5562	0,1544	0,6751	0,1300	0,4375	0,8438
Habitual1	0,4551	0,5666	0,1899	0,7202	0,0995	0,4375	0,8750
C. Mig	0,4226	0,6736	0,1073	0,7378	-0,1155	0,3750	0,8438
C. Baix	0,4461	0,6736	0,1308	0,7613	0,0290	0,2250	0,8438
C. Invertit	0,4653	0,6420	0,1648	0,7658	-0,0963	0,4975	0,9963
F. Blau	0,4418	0,6420	0,1305	0,7531	-0,0938	0,5300	0,8750
F. Groc	0,4153	0,8710	0,0076	0,8230	-0,1663	0,1875	0,8438

Taula 9.11 : Mitja, desviació estàndard, límits del IC (màx i mín) i percentils del retard acomodatiu per cadascuna de les condicions.

Podem observar que la mitja de totes les condicions és molt semblant. Estan compreses entre 0,4148 i 0,4653. Aquesta semblança també la podem observar en el següent gràfic (Gràfic 9.14):



Gràfica 9.14 Diagrama de caixes de la mitja i ds del retard per cada condició

Anàlisi entre les condicions

Tal i com ja s'ha comentat anteriorment, pràcticament no s'observen diferències entre el valor del retard en cadascuna de les condicions. Mitjançant el anàlisi de l'ANOVA realitzem una comparació entre els resultats del retard acomodatiu entre les diferents condicions (Taula 9.12), que ens permetrà assegurar de manera verídica que no existeixen diferències.

	Suma de quadrats	Gl	Mitja quadràtic a	F	Sig. (p)
Inter-grups	0,048	6	0,008	0,18	1,00
Intra-grups	59,871	133	0,450		
Total	59,919	139			

Taula 9.12: Diferència entre condicions

El valor de significació que obtenim (p), és 1,00. Per tant ja que és aquest valor és més gran de 0,05, podem afirmar que no existeixen diferències estadísticament significatives entre el retard acomodatiu dels diferents grups.

Per tant ni el contrast ni el color de fons influeixen amb el valor del retard acomodatiu.

10. DISCUSSIÓ

En aquest apartat es tracten els resultats de l'estudi, de tal manera que s'exposen els resultats trobats i es contrasten amb els resultats d'altres estudis relacionats.

10.1 Discussió de la motilitat ocular en la lectura

Primer de tot comentarem i discutirem els resultats obtinguts amb la condició habitual i després la comparació amb les diferents condicions de l'estudi.

Alex R. Bowers [2000] va obtenir una freqüència de paraules per minut de 242 ± 41 ppm. Aquests resultats es poden relacionar amb els obtinguts en el nostre estudi, on la freqüència de paraules per minut corresponia a 246 ± 33 ppm.

La condició de lectura, en el nostre cas es realitza amb pantalla d'ordinador, també pot explicar les diferències obtingudes respecte el rati de les fixacions (fixacions per segons). En el nostre estudi trobem que es realitzen $4,11 \pm 0,46$ fixacions per segon, mentre que en l'estudi de Bullimore M.A i Bailey I.L [1995], on la lectura es realitza sobre paper, el rati de fixacions és menor ($3,18$ fixacions per segon).

Respecte els resultats de les duracions de les fixacions en l'habitual, obtenim el valor de $219,35 \pm 27,7$ ms. Aquest valor el podem relacionar amb els resultats obtinguts en l'estudi realitzat per Blythe H.I et al. [2006] el qual compara els moviments oculars durant la lectura amb adults i nens, obtenint una duració de les fixacions de 240 ± 88 ms.

En el nostre estudi obtenint uns valors d'amplitud dels moviments sacàdics de $56,48 \pm 10,16$ píxels. Aquests tenen un valor molt semblant als que va obtenir Yang S. [2001], els quals tenien una amplitud de $61,48 \pm 0,26$ píxels.

Si ens centrem amb l'amplitud dels moviments sacàdics en caràcters obtenim un valor de $5,71$ caràcters per moviment sacàdic, mentre que en l'estudi realitzat per Inhoff A.W i Rayner K. (1986), obtenen un valor de $4,97$ caràcters per sacàdic. Un cop més aquesta diferència pot ser deguda a les condicions, ja que aquets darrers realitzen l'estudi amb paper i nosaltres amb una pantalla.

A continuació, s'analitzaran les diferències obtingudes entre les diferents condicions de lectura del nostre estudi.

Primer de tot ens centrarem amb la duració de la lectura, Ojanpää i Näsänen [2003] i Legge et al. [2001], van demostrar que degut a la disminució de contrast de luminància entre els caràcters digitals i de fons de les pantalles, produïa un augment en el número de fixacions i la duració d'aquestes, produint conseqüentment una disminució a la velocitat de la lectura. Si ens continuem centrant amb la velocitat lectora, Fujita i Shinoda [2012] van trobar que el llindar en el qual la velocitat màxima de lectura es veia afectada corresponia a un contrast de 20%, aquests resultats concorden amb els obtinguts amb el nostre estudi ja que el contrast mínim que tenim correspon a un 25% i no apareixen diferències respecte la velocitat.

Aquests resultats es poden relacionar amb els obtinguts en el nostre estudi, on veiem que la duració total de la lectura és menor en la condició habitual, que en les altres condicions, però no existeixen diferències estadísticament significatives ja que necessitaríem un valor de contrast inferior per poder observar-les.

També podem relacionar-ho amb amplitud de les fixacions, ja que obtenim que aquestes tenen una menor amplitud amb les diverses condicions de contrast (65%, 25% i invertit) respecte la condició habitual.

Si observem els moviments sacàdics, Jaina et. al [2011] i Legge et al. [2001] van observar que una disminució del contrast produïa una disminució en l'amplitud dels sacàdics. Aquests resultats es van relacionar amb el desenvolupament de la fatiga visual i ocular.

Aquests resultats no mostren relació amb els obtinguts en el nostre estudi, ja que únicament es presenten diferències estadísticament significatives entre la duració d'aquests moviments en la condició de contrast invertit i l'habitual.

Els nostres resultats amb el contrast invertit (fons negre i lletres blanques) mostren relació amb els obtinguts per Eva Heller [2004], els quals van determinar que per obtenir una bona lectura el fons havia de ser clar i les lletres més fosques, per tant, tal i com esperàvem, hem obtingut una pitjor motilitat ocular amb la condició de contrast invertit (major amplitud de les fixacions i major duració dels moviments sacàdics).

Aquesta alteració en la motilitat ocular és pot explicar d'acord al manual escrit per part de AT & T [1989] on afirma que quan és col·loca un text blanc sobre un fons fosc, el text es percep més brillant i borrós, fenomen que es coneix com a halo, dificultant així la lectura.

Finalment, tal i com hem observat en els resultats, la condició amb el fons de color blau és la que presenta més diferències estadísticament significatives, menys amplitud de les fixacions, un major número de sacàdics amb major duració i amplitud i menor velocitat. Aquests resultats es poden relacionar amb l'estudi realitzat per Kritani Yoshie i Shirai Shogo [2003] el qual va determinar que la dificultat de la lectura era major amb els colors de fons que no eren blanc, el color que més dificultat presentava era el vermell seguit del blau i groc. Per tant era d'esperar obtenir una pitjor motilitat ocular en el fons blau.

L'explicació per aquest fet podria anar més enllà de la motilitat ocular i estar relacionat amb factors neuro-psicològics. Podria estar relacionat amb el número de fotoreceptors de color blau que hi ha a la fovea (Cons S), aquest és molt inferior que els fotoreceptors de color vermell (Cons L) i color verd (Cons M). Una altra possible hipòtesis que trobem per explicar aquestes diferències en el contrast, és que nosaltres en calcular el contrast entre el fons i el text ho hem tractat contrast acromàtic (és a dir sense color), però al modificar el contrast de fons (blau i groc), obtenim un contrast cromàtic on la fórmula per poder calcular canvia, i per tant caldria tenir en compte la resposta dels fotoreceptors del canal blau – groc i del canal vermell – verd i mesurar el contrast cromàtics dels textos per veure si existeixen diferències entre els contrastos produïts pel fons blau i pel fons groc que poguessin explicar les diferències de la motilitat ocular.

Per futurs estudis, seria interessant trobar el llindar de contrast en el qual la motilitat ocular es veu afectada i ampliar el número de combinacions de color, modificant tant el text com el fons, per veure si aquests afecten o no a la motilitat ocular.

10.2 Discussió del retard acomodatiu en la lectura

Els resultats obtinguts analitzant el retard acomodatiu mitjançant el WAM – 5500 amb les diferents condicions de contrast i de color de fons han demostrat que no hi ha diferències estadísticament significatives en el retard.

Aquests resultats es poden relacionen aquets amb els obtinguts per Denieul [1994], el qual afirmava que en freqüències altres l'acomodació és manté constant, però en freqüències baixes poden haver-hi microfluctuacions, però tal i com van afirmar Toshida [1998] i Day [2009] son necessaris grans desenfoncs perquè és puguin apreciar aquestes variacions.

Per tant, necessitaríem avaluar l'efecte del contrast i del color de fons en les microfluctuacions i amb un contrast inferior per tal de poder observar diferències.

Cal que tinguem en compte també que l'auto-refractòmetre utilitzat, WAM – 5500, únicament realitza una sola mesura en un moment de la lectura, si volguéssim obtenir valors més fiables de l'estat acomodatiu durant la lectura caldria realitzar un auto-refractòmetre dinàmic tal i com va fer Harb E . [2006] on va veure que la resposta acomodativa era major en els primers minuts de la lectura i després disminuïa.

Per futurs estudis, podria ser interessant un anàlisi més detallat de la resposta acomodativa, mitjançant un auto-refractòmetre dinàmic, que tingués en compte les microfluctuacions i no una única resposta acomodativa. També seria interessant tenir en compte l'efecte fatiga és a dir com evoluciona la resposta acomodativa, si hi ha algun tipus d'adaptació al text i tenir en compte la resposta subjectiva del pacient.

11. CONCLUSIONS

Un cop analitzats els resultats obtinguts en el treball experimental i després de relacionar-los amb altres estudis.

11.1 Conclusions motilitat ocular

Respecte a la part de l'estudi relaciona amb la motilitat ocular, podem concloure que:

- No existeixen diferències significatives quan es comparen els resultats en les dues condicions habituals de lectura, això ens permet determinar que l'Eye Link 1000 Plus té una bona repetibilitat en les mesures que realitza.
- La caracterització de la motilitat ocular de la mostra de joves es la següent (mitja i desviació estàndard):
 - Número de fixacions per 100 paraules: $96,91 \pm 16,22$.
 - Amplitud de les fixacions per caràcters: $5,71 \pm 1,04$.
 - Freqüència fixacions per segon: $4,11 \pm 0,46$.
 - Número del sacàdics per 100 paraules: $62,73 \pm 11,27$.
 - Amplitud de sacàdics per caràcters: $8,89 \pm 1,87$.
 - Rati dels sacàdics: $36,44 \pm 1,66$.
 - Freqüència de sacàdics per segon: $2,69 \pm 0,49$.
 - Número de regressions per 100 paraules: $13,71 \pm 8,40$.
 - Percentatge de regressions respecte sacàdics: $17,38 \pm 9,31$.
 - Freqüència de regressions per segon: $0,55 \pm 0,31$.
- Existeixen correlacions directes entre el temps de lectura i el número de fixacions i número de regressions. Entre el número de fixacions i número de sacàdics i número de regressions. I indirectes entre el número de sacàdics i l'amplada X i la velocitat.
- Les diferències obtingudes amb els altres estudis poden ser degudes a les característiques del text (lletra, tamany, idioma..), característiques de la mostra i condicions de realització de les proves (paper o pantalla).

11.1.1 Conclusions de l'efecte del contrast acromàtic a la motilitat ocular

- El temps total de lectura no presenta diferències estadísticament significatives quan es modifica el contrast entre les lletres i el fons.
- La modificació del contrast (mig, baix i invertit) indueixen tendències a que l'amplitud de les fixacions (°) disminueixi.
- La duració dels moviments sacàdics és major amb el contrast invertit que amb l'habitual.

11.1.2 Conclusions de l'efecte del color de fons a la motilitat ocular

- El temps total de lectura no presenta diferències estadísticament significatives quan el color de fons és groc o blau.
- La modificació del color de fons indueix tendències a que l'amplitud de les fixacions (°) disminueixi.

- Amb el color de fons blau hem observat que el número, l'amplitud i la duració dels moviments sacàdics augmenta, en canvi la velocitat d'aquests moviments disminueix, respecte l'habitual.
- Amb el color de fons groc hem observat que el número de sacàdics augmenta mentre que la freqüència per segons disminueix, respecte l'habitual.

11.2 Conclusions retard acomodatiu

Respecte a la part de l'estudi relaciona amb el retard acomodatiu, podem concloure que:

- No existeixen diferències en el valor del retard acomodatiu amb diferents condicions de contrast (alt, baix i mig) i amb el color de fons (blau, groc i blanc).

12. BIBLIOGRAFIA

- Arnoldi, K., & Reynolds, J. D. (2007). A review of convergence insufficiency: what are we really accomplishing with exercises?. *American Orthoptic Journal*, 57(1), 123-130.
- Baloh, R. W., Sills, A. W., Kumley, W. E., & Honrubia, V. (1975). Quantitative measurement of saccade amplitude, duration, and velocity. *Neurology*, 25(11), 1065-1065.
- Bahill, A. T., Clark, M. R., & Stark, L. (1975). The main sequence, a tool for studying human eye movements. *Mathematical Biosciences*, 24(3), 191-204.
- Becker, W. (1991). Vision and visual dysfunction (Vol 8). *Macmillan Press, Ltd*, 95-137.
- Campbell, F. W. (1954). The minimum quantity of light required to elicit the accommodation reflex in man. *The Journal of physiology*, 123(2), 357.
- Carpenter, Roger H. S. "The use of eye movements" En: Carpenter, Roger H.S. *Movements of the eyes*. 2nd Ed. Lion: 1988, p. 1 – 11.
- Charman, W. N. (Ed.). (1991). *Visual optics and instrumentation* (Vol. 1). CRC PressI Llc.
- Ciuffreda, K. J., & Tannen, B. (1995). *Eye movement basics for the clinician*. Mosby Incorporated.
- Collins, T., Semroud, A., Orriols, E., & Doré-Mazars, K. (2008). Saccade dynamics before, during, and after saccadic adaptation in humans. *Investigative ophthalmology & visual science*, 49(2), 604-612.
- Atchison, D. A. (1995). Accommodation and presbyopia. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 15(4), 255-272.
- del Mar Lázaro, M., García, J. A., & Palacios, F. J. P. (2013). Anomalías de la visión y rendimiento escolar en Educación Primaria: un estudio piloto en la población granadina. *Revista interuniversitaria de formación del profesorado*, (76), 101-119.
- Denieul, P., & Corno-Martin, F. (1994). Mean response and oscillations of accommodation with colour and contrast. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 14(2), 184-189.
- Díaz, S.B., Gómez, A., Jiménez, C. y Martínez, M.P. (2004). *Bases optométricas para una lectura eficaz*. Centro Optometría Internacional. Máster en Optometría y Entrenamiento Visual. Material no publicado. Recuperado de: <http://visiondat.com/index.php?mod=articulos&art=70>
- Donders, F. C., & Moore, W. D. (1864). *On the anomalies of accommodation and refraction of the eye: With a preliminary essay on physiological dioptrics*(Vol. 22). The New Sydenham Society.
- Duane MD. An attempt to determine the normal range of accommodation at various ages-being a revision of Donders experiments. *Trans Am Ophthalm Soc*. 1908; 11 (3): 634 – 641 *fundamentos de visión Binocular. Pons A. Martínez-Verdú, FM. Universitat d'Alacant. 2004.*
- Duke-Elder, S., Abrams, D., & Ramos, R. E. (1985). *Refracción: teoría y práctica*. Jims.

- Furlan, W. D., Corral, M. M., Martí, A. P., & Tortosa, G. S. (2011). *Instrumentos ópticos y optométricos: Teoría y prácticas*. Universitat de València.
- Furlan, W. D., Monreal, J. G., & Escrivá, L. M. (2011). *Fundamentos de optometría: refracción ocular*. Universitat de València.
- Freedman, E. G., & Cecala, A. L. (2008). .15-Oblique gaze shifts: head movements reveal new aspects of component coupling. *Progress in brain research*, 171, 323-330.
- Gray, L. S., Winn, B., & Gilmartin, B. (1993). Accommodative microfluctuations and pupil diameter. *Vision Research*, 33(15), 2083-2090.
- Gray, L. S., Winn, B., & Gilmartin, B. (1993). Effect of target luminance on microfluctuations of accommodation. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 13(3), 258-265.
- Grisham, D., Simons, H. Perspectives on reading disabilities. En: Principles and practice of pediatric optometry. USA: Lippincott company. 1990).
- Hall, S. L., & Moats, L. C. (1999). *Straight talk about reading: How parents can make a difference during the early years*. Chicago: Contemporary Books.
- Harwerth, R. S., & Levi, D. M. (1978). Reaction time as a measure of suprathreshold grating detection. *Vision research*, 18(11), 1579-1586.
- Hooge, I. T. C., & Erkelens, C. J. (1996). Control of fixation duration in a simple search task. *Perception & Psychophysics*, 58(7), 969-976.
- Johnson, C. A. (1976). Effects of luminance and stimulus distance on accommodation and visual resolution. *JOSA*, 66(2), 138-142.
- Jordan, D., Mawn, L., & Anderson, R. L. (2012). *Surgical anatomy of the ocular adnexa: a clinical approach* (Vol. 9). OUP USA.
- Joubert, L., & Harris, W. F. (1997). Excess of autorefraction over subjective refraction: dependence on age. *Optometry & Vision Science*, 74(6), 439-444.
- Kędzia, B., Pieczyrak, D., Tondel, G., & Maples, W. C. (1999). Factors affecting the clinical testing of accommodative facility. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 19(1), 12-21.
- Kiritani, Y., & Shirai, S. (2003, October). Effects of background colors on user's experience in reading website. In *Journal of the Asian Design International Conference* (Vol. 1, p. 64).
- Legge, G. E., Ahn, S. J., Klitz, T. S., & Luebker, A. (1997). Psychophysics of reading—XVI. The visual span in normal and low vision. *Vision Research*, 37(14), 1999-2010.
- Legge, G. E., Rubin, G. S., & Luebker, A. (1987). Psychophysics of reading—V. The role of contrast in normal vision. *Vision research*, 27(7), 1165-1177.
- Leigh, R. J., & Zee, D. S. (2006). *The neurology of eye movements*, edition 4 (contemporary neurology series).
- Leigh, R. J., & Zee, D. S. (2015). *The neurology of eye movements*. Oxford University Press, USA.

- Lupp, U., Hauske, G., & Wolf, W. (1976). Perceptual latencies to sinusoidal gratings. *Vision research*, 16(9), 969-972.
- Millodot, M., & Rico, M. A. (1990). *Diccionario de optometría*. Colegio Nacional de Opticos-Optometristas.
- Mihaylova, M., Stomonyakov, V., & Vassilev, A. (1999). Peripheral and central delay in processing high spatial frequencies: reaction time and VEP latency studies. *Vision research*, 39(4), 699-705.
- Pavlidis, G. T. (1981). *Dyslexia research and its applications to education*. John Wiley & Sons Inc.
- Pérez, L. Á., Vázquez, E. S., & García, J. H. (1995). *Proyecto educativo, proyecto curricular y programación de aula: orientaciones y documentos para una nueva concepción del aprendizaje*. Universidad de Oviedo.
- Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Tests of the EZ Reader model: Exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive psychology*, 52(1), 1-56.
- Prieto Díaz J, Souza Dias J. Estrabismo. 5ta ed. Argentina: Ediciones científicas Argentinas; 2005. p. 133-7.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological bulletin*, 124(3), 372.
- Roufs, J. A., & Boschman, M. C. (1997). Text quality metrics for visual display units:: I. Methodological aspects. *Displays*, 18(1), 37-43.
- Rowe F. (2003). Glossary. Clinical Orthoptics. Blackwell Pub ; 2nd Ed.
- Seidel, D., Gray, L. S., & Heron, G. (2003). Retinotopic accommodation responses in myopia. *Investigative ophthalmology & visual science*, 44(3), 1035-1041.
- Seidemann, A., & Schaeffel, F. (2003). An evaluation of the lag of accommodation using photorefracton. *Vision Research*, 43(4), 419-430.
- Shaywitz, S. E. (2003). *Overcoming dyslexia: A new and complete science-based program for reading problems at any level*. Knopf..
- Stanovich, K. E. (1986). Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading research quarterly*, 360-407.
- Stark, L. R., & Atchison, D. A. (1997). Pupil size, mean accommodation response and the fluctuations of accommodation. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 17(4), 316-323.
- Toshida, K., Okuyama, F., & Tokoro, T. (1998). Influences of the accommodative stimulus and aging on the accommodative microfluctuations. *Optometry & Vision Science*, 75(3), 221-226.
- Von Noorden, G. K., & Campos, E. C. (2002). *Binocular vision and ocular motility*. Mosby.
- Wang, B., & Ciuffreda, K. J. (2006). Depth-of-focus of the human eye: theory and clinical implications. *Survey of ophthalmology*, 51(1), 75-85.

Yang, Q., Bucci, M. P., & Kapoula, Z. (2002). The latency of saccades, vergence, and combined eye movements in children and in adults. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 43(9), 2939-2949.

Young, LR; Shenna, D. "The electrical signals originating in the Eye: Saccadic response". En Young, Lr and Shenna, D. *Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*. Ed. Jg Webster, (1988), p 1259- 1269

Annex I:

CONSENTIMEN INFORMAT PER ESCRIT

Este estudio tiene como principal objetivo valorar el efecto de las lentes positivas y negativas, prismas, lentes cromáticas y el efecto del contraste y color del fondo sobre la motilidad ocular durante la lectura y la concordancia y repetibilidad de la medida del retardo acomodativo.

La participación en este estudio se divide en 2 sesiones, que se realizarán en el centro GAIA y que consisten en lo siguiente:

- Lectura de diversos textos del libro "*La chica del tren*" a través de diferentes lentes y prismas para evaluar la motilidad ocular mediante el Eye tracker *EyeLink*. Posteriormente, se realizarán preguntas sobre los textos para comprobar la comprensión lectora del sujeto en estudio.
- Evaluación de la motilidad ocular mediante el Eye tracker *EyeLink* con 3 contrastes y colores diferentes para pantalla y texto
- Evaluación del retardo acomodativo mediante el autorefractómetro *Seiko Wam*, se realizarán 3 medidas en visión lejana y visión próxima, con la anteposición de las diferentes lentes y prismas.
- Pruebas de MEM y Nott en ambos ojos.

Las pruebas serán realizadas por optometristas en horario de mañana y tarde.

Asimismo, es preciso firmar el presente documento:

Yo,.....con
DNI....., autorizo a Jesús Gascón, Anna León, Ainhoa de Castellarnau, Helena Blanch y Lidia Mullor a que me realicen las pruebas necesarias para el correcto desarrollo del estudio, y doy mi constancia de que he sido debidamente informado previamente a mi participación.

Firma

Terrassa,.....de..... de 2015

Annex II: Fitxa d'inclusió / exclusió en l'estudi

Nom:	Edat:	ID:	Data:
RX ACTUAL	EIX	CIL (-)	ESFERA
UD			
UE			
	UD	UE	
AV VL			
AV VP			
	SI	NO	
Ambliopia			
Estrabisme			
Cirurgia ocular			
Dislexia			
Orto-K			
Visió color normal?			
SC normal?			
PPC<10cm?			
PPA <10cm?			
CT	VL:	VP:	
OBSERVACIONS:			
FIRMA:			

Annex III Fragments del llibre “La chica del tren” de Paula Hawkins.

Text 1:

Observo atentamente la casa, pero no se ve nada. Las cortinas de la planta baja están descorridas pero las puertas correderas están cerradas y la luz del Sol se refleja en el cristal. La ventana de la guillotina del piso de arriba también está cerrada. Jose debe de estar fuera por trabajo. Es médico, creo; seguramente trabaja en una de esas organizaciones que operan en el extranjero. Está siempre de guardia, con la bolsa preparada en el estante superior del armario. Cuando hay un terremoto en Irán hay un tsunami en Asia, él lo deja todo, coge su bolsa y al cabo de unos minutos ya está en Madrid, preparado para volar y salvar vidas. En cuanto a Sara y sus atrevidos estampados, sus zapatillas de deporte Converse, su belleza y su presencia, trabaja en la industria de la moda.

Text 2:

O quizá en el negocio de la música, o en publicidad; también podría ser estilista o fotógrafa. Y además, pinta bien. Tiene una marcada vena artística. Ya la imagino en la habitación de sobre del piso de arriba, con la música a todo volumen, las ventanas abiertas, un pincel en la mano y un enorme lienzo apoyado en la pared. Estará ahí hasta medianoche; Jose sabe que no debe molestarla mientras está trabajando. En realidad no puedo verla, claro está. No sé si pinta ni si Jose se ríe mucho ni tampoco si Sara tiene los pómulos marcados. Desde aquí, no puedo ver su estructura ósea y nunca he oído la voz de Jose. Ni siquiera los he visto nunca de cerca: cuando yo vivía en esa calle ellos todavía no vivían ahí.

Text 3:

No sé exactamente cuándo se trasladaron. Creo que comencé a reparar en ellos hará cosa de un año y, poco a poco, a medida que fueron pasando los meses, se fueron volviendo cada vez más importantes para mí. Tampoco conozco sus nombres, así que tuve que inventármelos. Jose, porque es tan atractivo como una estrella de cine británica. Y Sara simplemente porque queda bien con Jose y a ella le pega. Hace juego con lo guapa y despreocupada que parece. Son un dueto, un equipo. Y son felices, los noto. Son lo que yo era, son Marc y yo hace cinco años. Son lo que perdí, son todo lo que quiero ser. He estado pensando en Sara todo el día y no he podido concentrarme en nada salvo en lo que he visto esta mañana.

Text 4:

¿Qué es lo que me ha hecho pensar que algo iba mal? A esa distancia no podía verla bien, pero he tenido la sensación de que estaba sola. Más que sola: abandonada. Quizá efectivamente lo estaba, quizá el ha viajado a unos de esos países calurosos a los que acude para salvar vidas. Y ella lo echa de menos y se preocupa aunque sepa que él tiene que ir. Claro que lo echa de menos, igual que

yo. Jose es amable y fuerte, todo lo que un marido debería ser. Y los dos forman un auténtico equipo, puedo verlo, lo sé. La fuerza de Jose, la actitud protectora que irradia, no quiere decir que ella sea débil. Ella es fuerte de otro modo: las conexiones intelectuales que realiza lo dejan a él con la boca abierta de admiración.

Text 5:

Esta tarde me siento agotada. Estoy completamente sobria. Algunos días me muero por beber; otros soy incapaz. Hoy, la simple idea hace que se me revuelva el estómago. Pero la sobriedad en el tren vespertino es un desafío. Sobre todo ahora, con este calor. Una fina capa de sudor cubre cada centímetro de mi piel, siento un hormigueo en el interior de la boca y los ojos me escuecen cuando, al frotármelos, el rímel se me mete por las comisuras. De repente, el móvil vibra en mi bolso, me sobresalta. Las dos chicas que van sentadas al otro lado del vagón se vuelven hacia mí y luego se miran entre sí e intercambian una sonrisa. No sé qué pensarán de mí, pero sé que no es algo bueno. El corazón me late con fuerza cuando cojo el teléfono.

Text 6:

Se trata de una pareja perfecta. Él es moreno y fornido. Parece fuerte, protector y amable. Tiene una gran sonrisa. Ella es una de esas mujeres pequeñas como un pajarillo, muy guapa, de piel pálida y pelo rubio muy corto. La estructura ósea de su rostro le permite llevarlo así: prominentes pómulos salpicados de pecas y marcada mandíbula. Mientras estamos parados en el semáforo en rojo, echo un vistazo por si los veo. Por las mañanas, Sara suele estar en el jardín tomando café, sobre todo en verano. A veces, cuando la veo ahí, tengo la sensación de que ella también me ve a mí y me entran ganas de saludarla. Soy excesivamente consciente de mí misma. A Jose no lo veo tan a menudo porque suele estar de viaje de trabajo.

Text 7:

La casa del número 15 es muy parecida a las demás casas que hay en el tramo de las vías: una casa adosada victoriana de dos plantas, con un estrecho y cuidado jardín que se extiende unos seis metros hasta la cerca, más allá de la cual hay unos pocos metros de tierra de nadie antes de llegar a las vías del tren. Conozco esta casa de memoria. Conozco todos sus ladrillos, el color de las cortinas del dormitorio del piso de arriba, los desconchados de la pintura que hay en el marco de la ventanilla del cuarto de baño y las cuatro tejas que faltan en una sección del lado derecho del tejado. También sé que a veces, en las cálidas tardes de verano, los ocupantes de esta casa, Jose y Sara, salen por la ventanilla de guillotina para sentarse en la terraza.

Annex IV: Taula de correlacions

Variable / Correlación de Pearson (Sig. (bilateral))	T_LECTUR A	NUM_FIX	DURADA_F IX	AMPLADA_ FIX	NUM_SAC	TEMPS_SA C	AMPLADA_ X_SAC	VEL_MED_S AC	NUM_REG	TEMPS_RE G	AMPLADA_ X_REG	VEL_MED_ REG	TEMPS_BIG _REG	AMPLADA_ X_BIG_REG	VEL_BIG_R EG
T_LECTURA		0,693 ,000	0,354 ,097	-0,307 ,154	0,494 ,017	0,101 ,646	0,018 ,934	-0,196 ,371	0,553 ,006	-0,050 ,822	0,095 ,3665	-0,345 ,107	-0,118 ,152	0,264 ,223	-0,222 ,308
NUM_FIX			-0,030 ,887	-0,206 ,323	0,642 ,001	0,037 ,859	-0,048 ,818	-0,210 ,313	0,620 ,001	,015 ,944	0,046 ,827	-0,069 ,742	0,098 ,232	0,222 ,	0,105 ,199
TEMPS_FIX				0,174 ,404	-0,162 ,438	-0,182 ,383	0,003 ,988	0,149 ,477	-0,002 ,994	-0,131 ,532	-0,114 ,586	0,134 ,523	0,038 ,644	-0,003 ,974	-0,080 ,330
AMPLADA_FIX					-0,337 ,099	0,135 ,521	0,345 ,091	0,336 ,100	0,015 ,943	-0,078 ,709	-0,493 ,012	0,228 ,272	0,197 ,016	-0,183 ,025	0,069 ,339
NUM_SAC						-0,207 ,321	-0,573 ,003	-0,768 ,000	0,030 ,889	0,064 ,760	0,125 ,553	-0,273 ,187	-0,026 ,749	0,045 ,583	0,140 ,505
TEMPS_SAC							0,725 ,000	0,360 ,077	0,493 ,012	0,374 ,066	-0,212 ,309	-0,068 ,747	,149 ,069	-0,002 ,979	0,177 ,030
AMPLADA_X_SAC								0,829 ,000	0,649 ,000	0,182 ,383	-0,278 ,178	0,210 ,313	0,010 ,901	0,073 ,374	-0,124 ,554
VEL_MED_SAC									0,473 ,017	0,030 ,886	-0,191 ,361	0,204 ,329	-0,138 ,092	-0,085 ,297	-0,152 ,005
NUM_REG										0,140 ,505	-0,33 ,877	0,084 ,308	0,068 ,414	0,033 ,690	0,070 ,741
TEMPS_REG													0,134 ,105	0,096 ,242	-0,200 ,014
AMPLADA_X_REG														-0,233 ,004	0,117 ,158
VEL_MED_REG															0,067 ,750
TEMPS_BIG_REG															-0,173 ,315
AMPLADA_X_BIG_REG															-0,589 ,002
VEL_BIG_REG															

Taula de correlacions entre variables