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

MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

TREBALL FINAL DE MÀSTER

COMPARACIÓ DEL DIÀMETRE PUPIL·LAR ENTRE MIOPS I NO MIOPS

YOUSSEF BARROUHOU BARROUHOU

DIRECTOR: JOAN GISPETS
CO-DIRECTORA: NÚRIA LÚPON
DEPARTAMENT ÓPTICA I OPTOMETRIA

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

El Sr. Joan Gispets com a director i la Sra. Núria Lúpon com a co- directora del treball,

CERTIFIQUEN

Que el Sr. Youssef Barrouhou Barrouhou ha realitzat sota la seva supervisió el treball "COMPARACIÓ DEL DIÀMETRE PUPIL·LAR ENTRE MIOS I NO MIOPS" que es recull en aquesta memòria per optar al títol de màster en optometria i ciències de la visió.

I per a què consti, signem aquest certificat.

Sr/Sra Joan Gispets	Sr/Sra Núria Lúpon
Director del treball	Co-directora del treball

Terrassa, 13 de Octubre de 2016

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

COMPARACIÓ DEL DIÀMETRE PUPIL·LAR ENTRE MIOPS I NO MIOPS

RESUM

El diàmetre pupil·lar es pot veure afectat per diversos factors, com ara l'edat, el sexe i l'ametropia del subjecte. En quant a aquest últim factor, diversos estudis exposen que en el cas de subjectes miops el diàmetre pupil·lar és major que en emmetrops i, que en subjectes hipermetrops és més petit que en emmetropies. En aquest treball hem desenvolupat un muntatge experimental per obtenir el valor del diàmetre pupil·lar de 94 subjectes d'entre 18 i 24 anys amb diferents estats refractius i analitzar les seves variacions en funció de l'estat refractiu i el sexe del pacient, mantenint constants la distància d'observació i la il·luminació. Els resultats obtinguts indiquen que no ha hi diferències significatives en el diàmetre pupil·lar segons l'estat refractiu o el sexe, però sí en funció de la dominància ocular.

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

COMPARACIÓN DEL DIÁMETRO PUPILAR ENTRE MIOPES Y NO MIOPES

RESUMEN

El diámetro pupilar puede verse afectado por diversos factores, como la edad, sexo y la ametropía del sujeto. En cuanto a este último factor, varios estudios exponen que en el caso de sujetos miopes el diámetro pupilar es mayor que en emétropes y, que en sujetos hipermétropes es más pequeño que en emétropes. En este trabajo hemos desarrollado un montaje experimental para obtener el valor del diámetro pupilar de 94 sujetos de entre 18 y 24 años con diferentes estados refractivos y analizar sus variaciones en función del estado refractivo y sexo del paciente manteniendo constantes la distancia de observación y la iluminación. Los resultados obtenidos indican que no ha hay diferencias significativas en el diámetro pupilar según el estado refractivo o el sexo, pero sí en función de la dominancia ocular.

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

COMPARISON OF PUPIL DIAMETER BETWEEN MYOPIC AND NON MYOPIC SUBJECTS

ABSTRACT

The pupillary diameter may be affected by various factors, such as age, gender and the refractive error of the subject. When talking about the latter factor, several studies state that in the case of myopic subjects pupillary diameter is bigger than in emmetrops and farsightedness subjects, and that farsightedness subjects have smaller pupillary diameter than emmetrops. In this work we have developed an experimental setup in order to obtain the value of the pupillary diameter of 94 subjects between 18 and 24 years with different refractive states and analyze its variations depending on the refractive state and sex of the patient maintaining the distance of observation and illumination. The results indicate that there are significant differences in pupillary diameter depending on the refractive state or the subject's gender, but according to ocular dominance there are.

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

Agraïments

El present treball de fi de màster va ser realitzat sota la supervisió de Joan Gispets i Núria Lupón, als que m'agradaria expressar el meu agraïment per fer possible aquest estudi.

A més a més, agrair la paciència, temps i dedicació que han tingut des del primer dia, i que sense ells no hagués sigut igual. També agrair a la professora Montserrat Tapias per la seva gran col·laboració i sense la seva ajuda no hagués pogut realitzar les mesures.

I per suposat, als meus pares i a la meva família, per donar-me suport en tot el que me proposat. Per últim, a la Clara Ramon per estar amb mi en tot moment. Gràcies a tots.

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ.....8
2. MARC TEORIC.....10

2.1 PUPILA.....10
2.1.1 Anatomia.....10
2.1.2 Fisiologia.....10
2.2 DIAMETRE PUPILAR.....10
2.3 MIOPIA.....12
2.4 RELACIÓ ENTRE MIOPIA I DIAMETRE PUPILAR.....16

3. OBJECTIUS.....19
4. METODOLOGIA.....20

4.1 MOSTRA.....20
4.2 MATERIAL.....21
4.3 PROCEDIMENT.....23
4.4 MESURES REALITZADES I PROCESSAT DE DADES.....24
4.5 ANALISI DE DADES.....24

5. RESULTATS.....27
6. DISCUSSIÓ.....36
7. CONCLUSIONS.....39
8. BIBLIOGRAFIA.....41

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

1. INTRODUCCIÓ

La funció de la pupil·la és regular la quantitat de llum que penetra en el globus ocular mitjançant l'augment o la disminució del seu diàmetre (miosi - midriasi), això s'aconsegueix amb la contracció i relaxació de les fibres musculars de l'iris. Aquesta variació del diàmetre permet que arribi a la retina la quantitat de llum necessària amb el fi d'obtenir una visió adequada. (Rafael Muci - Mendoza , 2001). El diàmetre pupil·lar ha estat tractat d'una forma generalitzada. La majoria part dels estudis el situen entre 3 i 5 mil·límetres, tot i que hi ha estudis que han obtingut valors superiors o inferiors (Juan A. Sanchis-Gimeno et al. 2012; Xiaogang Wang et al. 2014). Moltes de les diferencies en els resultats poden ser atribuïdes als diferents mètodes de mesura.

La mida de la pupil·la es pot veure afectada per diversos factors, com ara el nivell de luminància que arriba a la retina, l'estat acomodatiu de l'ull, diverses condicions sensorials i emocionals, així com l'edat i l'ametropia del subjecte (Otto Lowenstein – Irene Loewenfeld, 1999; Rüfer F et al. 2010; Winn B et al. 1994; Linke SJ et al. 2012). En quant a aquest últim factor, diversos estudis exposen que en el cas de subjectes miops el diàmetre pupil·lar és major que en emmètrops i, que en subjectes hipermetrops és més petit que en es emmetropies. (Cakmak HB et al. 2010; Otto Lowenstein – Irene Loewenfeld, 1999).

L'objectiu d'aquest treball és desenvolupar un muntatge experimental per obtenir el valor del diàmetre pupil·lar i analitzar les seves variacions en funció de l'error refractiu i el sexe del pacient, amb un muntatge experimental que permeti mantenir constants les altres condicions..

En aquesta memòria presentem els resultats del nostre treball en diferents apartats. En el marc teòric expliquem els principals fonaments teòrics i farem menció a diferents estudis relacionats amb la nostre recerca. Seguidament, farem una descripció dels objectius proposats en aquest estudi i plantegem la hipòtesi a estudiar.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

En la metodologia explicarem detalladament el mecanisme que hem utilitzat per obtenir els resultats. Aleshores en l'apartat de discussió farem una comparació d'aquest resultats amb d'altres estudis semblants i, finalment, enunciem unes conclusions.

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

2. MARC TEÓRIC

2.1 PUPIL·LA

2.1.1 Anatomia

L'iris és la porció més anterior del tracte uveal. És un diafragma discoïdal adherit a la perifèria del cos ciliar. El seu origen prové del mesoderma i neuroextoderm i conté dos músculs: l'esfínter i el dilatador de la pupil·la, tancant o obrint en el centre l'orifici pupil·lar.

Al voltant dels quatre mesos de gestació, el vorell de la copa òptica es diferencia en una banda circular de múscul llis típic i es situa per davant de l'epiteli pigmentari neuroectodèrmic en l'estroma de l'iris. El múscul dilatador s'origina en la capa externa de la copa òptica primitiva, més o menys en el sisè mes. De la capa retinal interna de la copa òptica esdevé la capa cel·lular única profunda pigmentària de l'epiteli posterior de l'iris, mentre que de la capa externa de la copa òptica, corresponent a l'epiteli pigmentari de la retina, s'origina el mioepiteli pigmentat, el dilatador de l'iris.

La pupil·la és un orifici dinàmic que regula l'entrada de llum a l'ull, intervenint d'aquesta manera en l'adaptació retiniana a la llum i en la visió de prop. El recorregut de la pupil·la pot ser extraordinàriament ampli. Quan es contreu en forma màxima, el diàmetre de la pupil·la humana pot ser menys de 1 mm i quan es dilata pot ser de més de 9 mm. (Martin i Corbett J, 2002.)

2.1.2 Fisiologia

Segons Kufman, P (2004), les principals funcions de la pupil·la són:

1. Control retinià de la Il·luminació : La resposta als canvis d'il·luminació ambiental manté constant la il·luminació retiniana. Això facilita l'adaptació immediata a la llum i a la foscor durant els canvis bruscos d'il·luminació ambiental.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

2. Profunditat de focus : La miosi durant la visió de prop produeix un efecte estenopeic que redueix l'error de refracció i augmenta la profunditat d'enfocament.

3. Reducció de les Aberracions Òptiques : Minimitza les aberracions òptiques a la còrnia i en el cristal·lí limitant l'entrada de feixos de llum a l'ull. Les aberracions i l'enlluernament es solen produir en pupil·les grans en la foscor o després de la midriasi .

L'activitat pupil·lar esta intervinguda per una via aferent (visual) i una via eferent (motora; miosi - midriasi). La miosi pupil·lar és la funció de l'esfínter de la pupil·la, innervat per fibres parasimpàtiques. La midriasi és la funció del dilatador de la pupil·la i està controlada per fibres simpàtiques (Wiechers , E 2003).

2.2 DIÀMETRE PUPI·LAR

El diàmetre pupil·lar resulta del balanç entre el múscul esfínter de la pupil·la i les fibres radials de l'iris que tenen, únicament, innervació autònoma. La constricció de la pupil·la, modulada pel múscul esfínter, es deu a l'acció de les fibres parasimpàtiques que fan sinapsis en el gangli ciliar. La dilatació pupil·lar passa per l'activació de fibres provinents de l'hipotàlem i d'altres fibres subcorticals que descendeixen pel segment del cervell mitjà i medul·la cervical, per fer sinapsis en les neurones ubicades a les banyes laterals de la medul·la espinal. Aquestes fibres prossegueixen cap al gangli estrellat, fan sinapsis en el gangli cervical superior i les seves fibres postganglionars cursen amb l'artèria caròtida interna per assolir l'ull a través dels nervis ciliars llargs. La pupil·la és diferent entre individus i, a més, entre els ulls del mateix subjecte, amb asimetries de fins un 20 per cent en individus normals que, poques vegades, supera els 0.5 mm (Gutiérrez M, 1989).

La mida de la pupil·la es pot veure afectada per diversos factors, com ara el nivell de luminàn-cia que arriba a la retina, l'estat acomodatiu de l'ull, diverses condicions sensorials i emocio-

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

nals i l'edat del subjecte. En relació a aquest últim factor,es sap que, durant la infància i la joventut, la pupil·la és més gran i es va reduint a mesura que augmenta l'edat de manera que, per a gent gran, la pupil·la és més petita i les diferències entre el diàmetre pupil·lar en condicions de llum i de foscor es redueixen. Per l'ull adaptat a la llum es poden considerar diàmetres típics de 4,8 mm als 10 anys, 4,0 mm als 45, i 3,4 mm als 80 anys. Per l'ull en la foscor total els diàmetres més freqüents són, 7,6 mm als 10 anys, 6,2 mm als 45, i 5,2 mm als 80 anys (Calcagnini, G., et al. 2000; Lang Gerhard, K., 2006; Wyatt, H.J., 1995).

A més a més la mesura de la mida pupil·la depèn molt dels mètodes utilitats, ja que al llarg dels anys han inclòs l'ús de les cartes de comparació, càmeres fotogràfiques i , més recentment , pupil·lòmetres infrarojos digitals i portàtils (Colvard 1998; Boxer Wachler i Krueger 2000 ; Schnitzler et al. 2000 ; Pop i col. 2002 ; Kohnen et al. 2003).

Els canvis en les mides pupil·lars depenen també de les variacions en el calibre dels vasos sanguinis, innervats per la porció simpàtica del sistema nerviós autònom (Taylor WR, Chen JW, Meltzer H, J Neurosurg, 2003).

Juan A. Sanchis-Gimeno et al .2012, van realitzar un estudi amb 379 ulls de subjectes joves sans emmetrops que es van analitzar per mitjà de la topografia corneal en la qual s'avalua diàmetre corneal, diàmetre de la pupil·la, el gruix corneal central. Pel que fa al diàmetre de la pupil·la variava des 3,0-4,7 mm i els diàmetres de pupil·la són majors en les dones emmetrops .

2.3 MIOPIA

La miopia és el defecte refractiu més comú, que ha estat estudiat des de l'antiguitat i descrit en documents per primera vegada per Aristòtil. L'ull miop es caracteritza per tenir una potència refractiva excessiva per la seva longitud axial. La base física fonamental per a comprendre la naturalesa d'un ull miop és que les imatges s'enfoquen per davant de la retina i no damunt i això dificulta la visió llunyana. (Fredrick, 2002).

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

La miopia presenta una alta prevalença en la societat actual , de manera que l'òptic - optometrista ha d'estar perfectament familiaritzat amb les seves característiques, mètodes de correcció i assessorament al pacient, ja que a més és un factor de risc per a certes patologies com ara despreniment de retina o glaucoma.

2.3.1 Classificació de l'ametropia

Hi ha abundant literatura sobre la miopia, així com múltiples classificacions per al seu estudi. Aquí es proposa una classificació alternativa en base a diferents autors, amb la intenció que sigui més fàcil de reconèixer per part de l'optometrista en la seva pràctica diària.

2.3.1.1Etiologia

Les causes d'aparició de la miopia més probables semblen ser la predisposició genètica i factors ambientals, així com la relació entre elles. Hi ha una major probabilitat de desenvolupar miopia si els pares del subjecte són miops, ja que es el que dóna a entendre un patró genètic hereditari en aquestes famílies (Czepita D, Mojsa A, Ustianowska M, Czepita M, Lachowicz E, Klin Oczna, 2011). El paper fonamental atorgat a l'espasme d'acomodació ha estat evident durant l'últim segle, si bé estudis recents parlen d'altres mecanismes que podrien ser els causants de la miopia. Un d'ells, assenyala el desenfocament retinià que es produeix en mirar de prop com a causant de l'elongació del globus, i per tant de miopitzar l'ull, on la perifèria retiniana és hipermetrop que fa a la fòvea central (Ciuffreda KJ , Vasudevan B, 2010). El desenvolupament de la miopia en nens sembla estar relacionat amb l'associació de la manera de vida del subjecte, la seva activitat educativa i error refractiu dels pares.

2.3.1.2 Fisiopatologia

Aquesta classificació de la miopia es divideix en miopia axial i en la refractiva.

La **miopia axial:** quan la longitud de l'ull és més gran del normal.

La **miopia refractiva:** es produeix quan el sistema refractiu de l'ull és massa potent per a la seva

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

longitud axial. Aquesta miopia es divideix en 3 subgrups:

- **Miopia refractiva d'índex:** Disminució de l'índex de refracció de la còrnia (condició rara) o un augment en el cristal·lí (normalment per cataractes o diabetis).

- **Miopia refractiva de curvatura:** Disminueix el radi corneal (trencament de la membrana de descemet , queratitis, queratocon) o del cristal·lí (principi de cataractes, lenticono).

- **Miopia refractiva de càmera anterior:** Sorgeix quan la seva profunditat es troba disminuïda.

2.3.1.3 Miopia simple i patològica

Aquesta classificació és fonamental des del punt de vista clínic. En un ull amb miopia simple, la més comuna, tan sols es dóna una mala correlació dels seus sistemes refractius, sent els seus components òptics i longitud axial anormals, i es caracteritza per no presentar lesions.
Per contra, un ull amb miopia patològica està acompanyat de defectes degeneratius en el pol posterior, sobretot a nivell retinià i l'humor vitri, com a conseqüència de l'allargament excessiu del globus ocular. Aquests presenten errors refractius elevats, generalment a partir de -6,00 D.

2.3.1.4 Edat d'aparició

Aquesta classificació es valora segons l'etapa de la vida en que apareix la miopia.

Congènita: És la que apareix en el naixement, té uns valors alts que es mantenen després del procés de emetropització i representa tan sols un 2% del total dels miops (Martín R i Vecilla G,2011).

Infància: sol fer-ho entre els 6 anys d'edat i l'adolescència, serà una miopia moderada i és

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

l'edat d'aparició més comú.

Adult jove: Serà entre els 20 i 40 anys i la majoria dels casos tenen valors relativament baixos; la seva prevalença és d'un 30 %.

Madura: A partir dels 40 anys , augmentant la seva freqüència en els últims anys de vida.

2.3.1.5 Altres miopies

En la miopia també existeixen altres tipus que no són tan comuns i que precisen de certes condicions específiques per a la seva aparició.

Miopia nocturna: Es dóna en condicions de baixa il·luminació, quan l'ull, en lloc de relaxar l'acomodació, s'acomoda en excés.

Pseudomiopía: Estat en el qual l'increment del poder refractiu es produeix per espasme del múscul ciliar.

Miopia instrumental: Sorgeix en mirar a través de certs aparells, com el microscopi, on la imatge està situada a l'infinit òptic però s'indueix una acomodació proximal per saber la posició real de l'objecte.

Miopia espacial: Apareix quan s'estimula l'acomodació en un camp visual buit, on no es pot fixar la mirada en cap objecte**.**

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

2.4 RELACIÓ ENTRE MIOPIA I DIAMETRE PUPIL·LAR

Alguns autors (Cakmak HB et al. 2010; Otto Lowenstein – Irene Loewenfeld, 1999) estableixen que el diàmetre pupil·lar és més gran en els miops i menor en els hipermetrops, respecte a les persones emmetrops; altres neguen això. Els mateixos autors afirmen la pupil·la en anisometropies ha de conduir a una anisocòria, amb les pupil·les majors pertanyents als ulls més miops, o les pupil·les més petites a l'ull mes hipermetrop.

Les investigacions exposaven que el diàmetre pupil·lar és com una regla: és major en la miopia, almenys en aparença, ja que la càmera anterior dels miops és freqüent que sigui mes profunda, el què fa que la pupil·la sembli gran (W.D. Zoethout , 1939; Xiaogang Wang et al. 2013).

A més, aquest mateix autor (Xiaogang Wang et al. 2013) va afirmar que la miopia tendeix a estar associada amb un major poder refractiu de la còrnia i una càmera anterior més profunda que en ulls emmetrops. Aquests dos factors farien créixer la mida aparent de la pupil·la.

Hirsch i Weymouth al 1949, van realitzar un estudi amb 266 estudiants de sexe masculí (532 ulls) a la Universitat de Stanford. Els autors van determinar l'estat refractiu per retinoscopi, lents de prova i el diàmetre pupil·lar amb un pupil·lòmetre mentre els subjectes miraven fixament cap a un full blanc il·luminat darrere del cap del examinador. Aquestes mesures van ser avaluades estadísticament. Els resultats reportaven que la mitjana de la mida de la pupil·la d'un emmetrop era de 4.79 mm, per a un miop de 5D era 5.23mm i per a un hipermetrop de 5D era de 4.35mm. La relació entre el estat refractiu i la mida aparent de la pupil·la va semblar establerta, tot i que el coeficient de correlació era molt petit. Això va mostrar que en la població estudiada, aproximadament el 6% de la variabilitat en la mida de la pupil·la era associada amb la variabilitat en l'estat refractiu.

Seguint en el mateix tema, en un estudi de Ronald Jones al 1990 sobre la mida diàmetre pupil·lar, va demostrar que no hi va haver diferències significatives en la mida de les pupil·les entre els miops i emmetrops. La mesura es va realitzar en 48 subjectes d'entre 18 i 26 anys, i

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

van ser equilibrats en parts iguals segons estat refractiu i el sexe. Per la mesura es va utilitzar un pupil·lòmetre infraroig adinàmic connectat a un microordinador. Els miops mascles presentaven un diàmetre de 5.59 ± 0.20 i les dones miops 5.63 ± 0.30. Pel que fa als emmetrops, les dones presentaven un diàmetre pupil·lar de 5.60 ± 0.22 , i els homes de 6.00 ± 0.24 .

Winn et al. 1994 també va avaluar la relació entre estat refractiu i mida pupil·lar en 91 subjectes, sense reportar cap relació significativa entre l'error de refracció i la mida de la pupil·la en la seva població d'estudi. Es va fer ús d'una càmera fotogràfica infraroja utilitzant una técnica de gravació continua. No obstant això, els grups no es van fer per edat, tenint un grup d'hipermetrops amb una mitjana d'edat de 10 anys més que els subjectes miops i emmetrops i, per tant, la diferència d'edat pot haver estat un factor de confusió.

Més recentment, en el 2014, els autors Xiaogang Wang, Jing Dong i Qiang Wu, van realitzar un estudi amb la finalitat d'investigar els paràmetres normals del segment anterior i analitzar els possibles factors que influeixen en l'ús d'un doble sistema de Scheimpflug. L'estudi va incloure a 153 subjectes normals (58 homes i 95 dones) d'entre 12 a 85 anys. D'entre els paràmetres del segment anterior s'estudiava el diàmetre pupil·lar i la profunditat de la càmera anterior. El diàmetre pupil·lar mitjà va ser de 3,04 mm (Min. 1,24; Màx. 4,87). Pel que fa a la profunditat de la càmera anterior va ser de 3,03 mm (Min. 1,89; Màx. 3,83 mm).

Seguint en la mateixa temàtica, un estudi sobre els efectes de l'edat, l'estat de refracció, i la luminància en la mida pupil·lar, en la que es avaluar 304 pacients (127 homes i 177 dones) d'entre 18 i 78 anys amb una càmera de vídeo macro infrarojos, es va concloure que el diàmetre pupil·lar en unes condicions d'il·luminació determinades va ser de 4,21 mm en miops, 4,32 en emmetrops i 3,73 en hipermetrops en pacients joves (Guillon M. et al. 2016).

A més a més, Orr JB1, et al. 2015 van demostrar que l'error refractiu no té cap influència en diàmetre de la pupil·la, amb independència de la correcció refractiva o la demanda acomodativa. Això suggereix que la pupil·la està controlada pel reflex pupil·lar a la llum i no és impulsada per la falta de definició de la retina.

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

Pel que fa al sexe, Ronald Jones al 1990 va demostrar que no hi va haver diferències significatives entre homes i dones. En un estudi d'investigació semblant a l'anterior, els mateixos autors van concloure que el diàmetre pupil·lar mitjà va estar entre de 3,1-3,0 mm en homes i 2,9-2,8 mm en dones (Xiaogang Wang et, 2013). En canvi, els autors Juan A. Sanchis-Gimeno et al., al 2012 (sobre diferents paràmetres i espessors corneals) afirmen que les dones presenten major diàmetre pupil·lar.

La discrepancia dels resultats publicats demostra que la mesura del diàmetre pupil·lar i el seu estudi en funció de condicions diverses segueix sent interessant.

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

3. OBJECTIUS

- Dissenyar i muntar un dispositiu de control de les condicions de fixació i il·luminació que incorpori una càmera digital pel registre de la imatge de la cara anterior de l'ull, per mesurar les dimensions de la pupil·la sobre ella.

- Comparar els valors de diàmetre pupil·lar en unes condicions determinades d'il·luminació i fixació en la mostra escollida, en funció del defecte refractiu, el sexe i la dominància ocular.

- Explorar, mitjançant càlculs d'òptica visual, si les possibles variacions trobades en el diàmetre pupil·lar s'expliquen per diferències en les característiques òptiques del segment anterior.

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

4. METODOLOGIA

En aquest apartat detallarem el guió que s'ha realitzat pel desenvolupament del treball, explicant els criteris de selecció de la mostra, el material utilitzat, el procediment experimental i l'anàlisi de dades.

4.1 MOSTRA

En aquest estudi es van avaluar un total de 93 subjectes, 41 dels quals eren homes (44,1%) . Van ser avaluats 49 ulls drets i 44 ulls esquerres que van escollits aleatòriament. Les edats dels participants estaven compreses entre 18 i 24 anys. (X: 20,98 ±1,83).

Els criteris d'inclusió de pacients van ser els següents:

- Que no s'haguessin sotmès a cap tipus de cirurgia cornial.
- Que no patissin cap patologia de la còrnia.
- Que presentessin una AV igual o superior a 0,8 amb la millor correcció òptica.
- Que no presentessin cap patologia que pugui afectar el diàmetre pupil·lar.
- Que no prenguessin cap medicació o altres substàncies que puguin afectar el diàmetre pupil·lar.

A la declaració de Helsinki de l'Associació Mèdica Mundial (AMM) podem trobar les implicacions ètiques i legals de la protecció de dades. Encara que aquesta declaració està destinada principalment als metges, la AMM insta a altres participants, com els Òptics Optometristes, a la investigació mèdica en éssers humans a adoptar aquests principis.

En aquest estudi s'ha tingut en compte la "Llei Orgànica 15/1999, del 13 de desembre, de protecció de dades de caràcter personal", que garanteix i protegeix les dades personals, llibertats públiques i drets fonamentals de les persones, i especialment del seu honor, intimitat i privacitat personal i familiar. També s'ha seguit la "Llei 41/2002 del 14 de novembre, d'autonomia del pacient i consentiment informat".

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

Cada pacient facilitava dades relatives a la refracció habitual, per tal de classificar-los segons l'estat refractiu, i es determinava la seva dominància motora ocular mitjançant la prova de preferència ocular.

Aleshores van ser classificats segons els tipus d'ametropia:

Estat refractiu	**Nombre de pacients**
Emmetrops	38 (40,86%)
Miops	43 (46,23%)
Hipermetrops	12 (12,90%)

Taula 1: Classificació de la mostra en funció error refractiu

4.2 MATERIAL

Per tal d'obtenir una il·luminació uniforme i sense reflexos inconvenients sobre la cara anterior dels ulls dels subjectes, es va utilitzar la cúpula difusora d'un campímetre de Goldman, que incorpora una mentonera (veure figura 1). A la font de llum pròpia del campímetre se li va afegir un focus LED amb el que s'obtenien 1180 lux sobre les còrnies dels subjectes (Michael D Twa et al., 2004). Les imatges de la cara anterior dels ulls s'obtenien mitjançant una càmera digital Canon EOS 100D EF-S 18-135 mm 1: 3.5-5.6 IS STM i un diàmetre objectiu de 67 mm, a traves de l'orifici central que presenta la cúpula (veure figura 2).

La càmera estava fixada sobre un trípode i alineada amb l'orifici central de la cúpula. A més, es va fer ús d'un monitor de TV connectat a la càmera que permetia optimitzar el correcte enfocament de les pupil·les.

Per cada pupil·la fotografiada, s'obtenia també la imatge d'un regle convencional dividit en mm que ens va permetre parametritzar les mesures fetes sobre les imatges, tal com s'explicarà més endavant.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

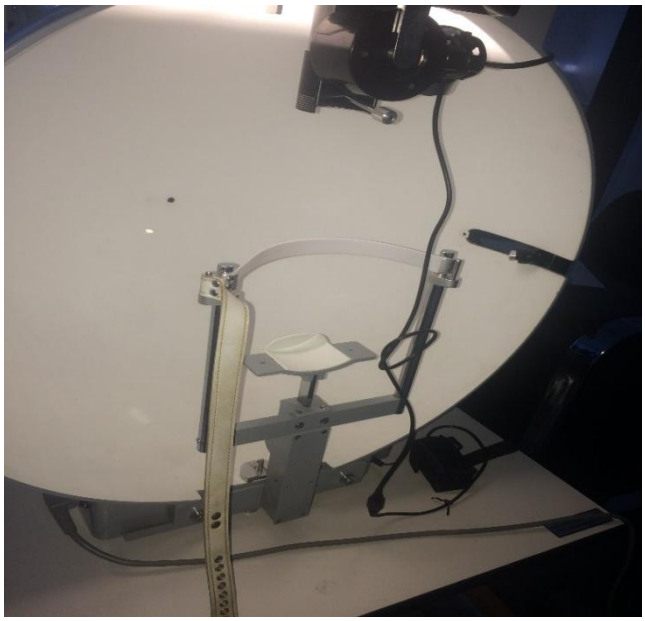


Figura 1. Cúpula interior, la mentonera i amb les condicions d'il·luminació.

Figura 2. Càmera Canon

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

Figura 3. Muntatge experimental

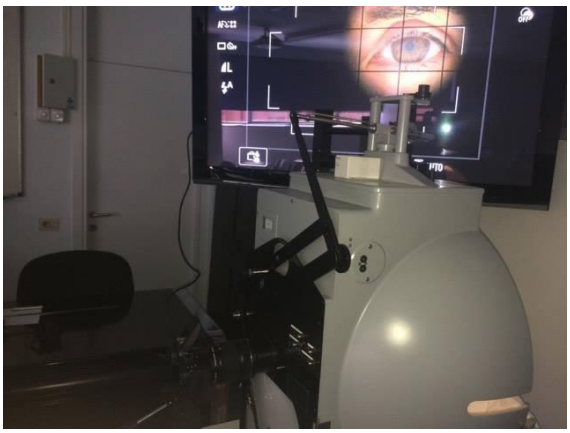


Figura 4. Captura de la imatge

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

4.3 PROCEDIMENT

Per tal d'obtenir les dades del diàmetre pupil·lar necessàries per aquest estudi passem a presentar el procediment realitzat.

Els pacients van ser convocats en intervals de 10 minuts y van ser informats que se'ls realitzaria unes fotografies de l'ull. Aleshores el pacient havia de col·locar la barbeta sobre la mentonera i el front tocant la banda de dalt, sota les condicions d'il·luminació explicades a l'apartat anterior. Abans de realitzar la presa de la imatge es tenia en compte 1 min d'adaptació a les condicions d'il·luminació (Mc Donell c, et al 2006). Els pacients amb ulleres se les havien que treure. Tot seguit s'avisa al pacient que es fixés al punt central de color negre y aleshores, amb l'objectiu de la càmera s'enfocava la imatge de la pupil·la amb l'ajuda visual de la pantalla de plasma. Un cop s'obtenia una imatge nítida de la pupil·la es realitzava la captura de la imatge.

Vàrem realitzar 3 fotografies, en un únic ul, escollit aleatoriament, de cada pacient. També es feien tres imatges del regle en el mateix pla de la pupil·la, per tal d'assegurar que deixàvem la càmera en la mateixa posició i movíem el regle fins tenir una imatge nítida o enfocada.

Al final de cada presa d'imatges per pacient s'assignava un codi i s'apuntava l'edat, el defecte refractiu, ull fotografiat i la dominància ocular del pacient.

4.4 MESURES REALITZADES I PROCESSAT DE DADES

Les mesures realitzades sobre les imatges s'han dut a terme mitjançant el programa informàtic ImageJ (NIH, 1.50i, 2016).
Les eines d'aquest programa permeten marcar el contorn de la pupil·la sobre la imatge de la cara anterior de l'ull i saber el número de píxels continguts en aquest contorn. Sobre cada fotografia, es realitzava aquesta mesura tres vegades i s'obtenia el que anomenarem àrea mitjana en píxels A_m(píxel).

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

Es va fer un experiment amb banc òptic on es registrava una imatge del regle mil·limetrat situat a distàncies d'entre 25 i 35 cm, en passos d'un centímetre, de l'objectiu de la càmera. Es va comprovar que hi havia una relació inversa i lineal entre la distància i el número de píxels/mm sobre la imatge enregistrada. Per cada centímetre des desplaçament del regle es produïa un canvi de 4 pixels/mm en la imatge. És per tenir en compte aquest efecte que es prenia una imatge del regle per cadascun dels ulls examinats.

Les imatges del regle graduat van ser utilitzades per determinar el factor de conversió de píxels a mil·límetres. Amb les eines del programa Imagej es marcava una línia coincident amb 20 mm de la imatge del regle i es determinava la seva longitud en píxels. La mesura es repetia tres vegades sobre cada fotografia i s'obtenia la longitud mitjana L_m(píxel). Llavors el factor de conversió resulta ser:

$$\frac{20mm}{L_m(pixel)}=\ell$$

De manera que la superfície d'un píxel vindria donada per

$S_{píxel} = \ell^2$ mm^2.

Amb el factor de conversió es va calcular l'àrea pupil·lar en mm^2 que anomenarem A:

$A = A_m$ (píxel)$\cdot\ell^2$ (mm^2/píxel).

Finalment es va calcular el valor del diàmetre pupil·lar, D, a partir de A.

$$D=2\sqrt{\frac{A}{\pi}}=2\ell\sqrt{\frac{A_m}{\pi}}$$

4.5 ANALISI DE DADES

Les magnituds objecte d'estudi han estat l'àrea pupil·lar mitjana mesurada en píxels, A_m, el diàmetre pupil·lar, D, i el factor de conversió (1/ℓ), mesurat en píxel/mm.

En primer lloc s'ha analitzat la dependència A_m i D amb l'estat refractiu, el sexe i la dominància ocular dels subjectes mitjançant una ANOVA per cada un dels factors. Per l'estudi de la dependència amb l'estat refractiu també s'ha dut a terme una comparació per parelles de

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

Tukey.

En segon lloc s'ha analitzat la dependència de (1/ℓ) amb aquells factors respecte als quals s'han trobat diferències significatives en l'anàlisi anterior.

En tots els casos el nivell de significació es va establir en p_valor ≤ 0,05.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

5. RESULTATS

En la següent taula es mostren les mitjanes i les desviacions estàndards de l'àrea pupil·lar mitjana en píxels per a cada estat refractiu, mesurada directament sobre la imatge enregistrada amb la càmera.

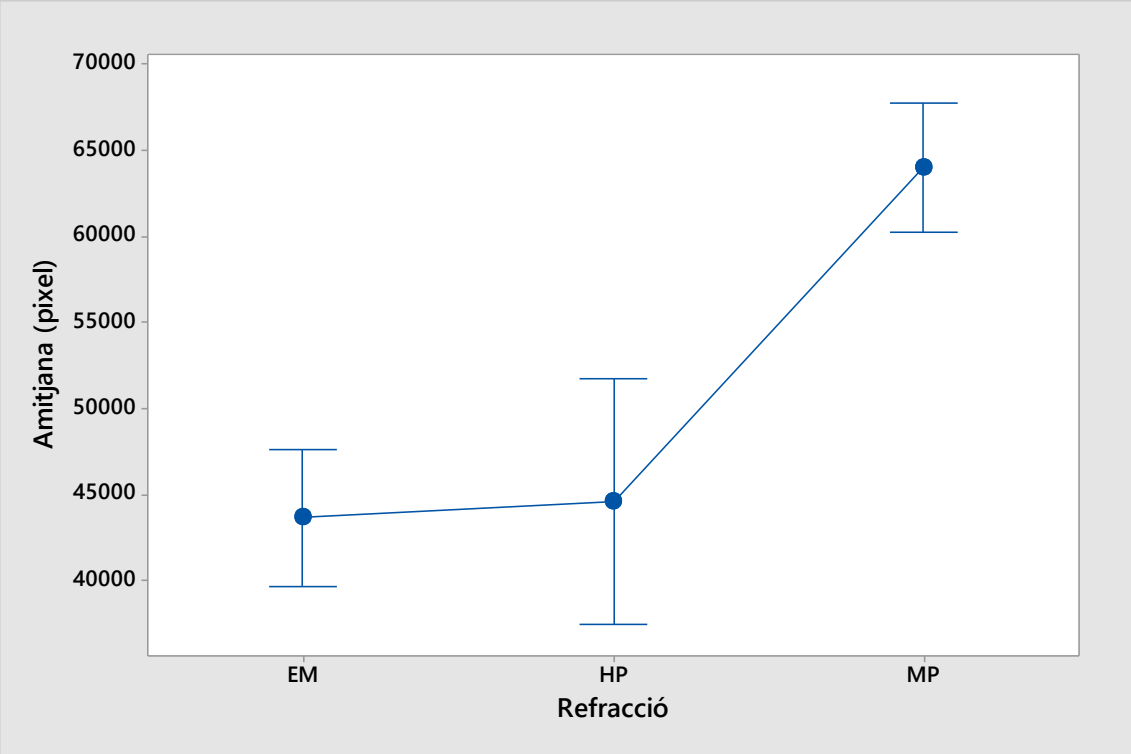
REFRACCIÓ	MOSTRA	MITJANA(pix.)	DESV.EST. (pix)	MÀXIM (pix.)	MÍNIM (pix.)	Valor p
Emmetropia	38	43662	12309	84933	20736	**<0,0001**
Hipermetropia	12	44585	14314			
Miopia	43	64040	11984			

Taula 2. Mitjanes i desviacions estàndards de l'àrea mitjana pupil·lar en píxels en funció de la refracció i p valor obtingut amb l'ANOVA.

En la gràfica 1, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança de l'àrea pupil·lar en píxels en funció de la refracció.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

DEPENDÈNCIA AMB EL DEFECTE REFRACTIU



Gràfica 1. Mitjanes i intervals de confiança de l'àrea pupil·lar en píxels en funció de l'estat refractiu.

La Taula 2 i la gràfica 1 mostren que l'àrea pupil·lar en píxels presenta diferències significatives en funció de la refracció.–Els miops presenten un valor major en front als emmetrops i hipermetrops, els quals presenten valors similars entre ambdós grups.

En la taula 3, es mostren les mitjanes i les desviacions estàndards del diàmetre pupil·lar per a cada estat refractiu.

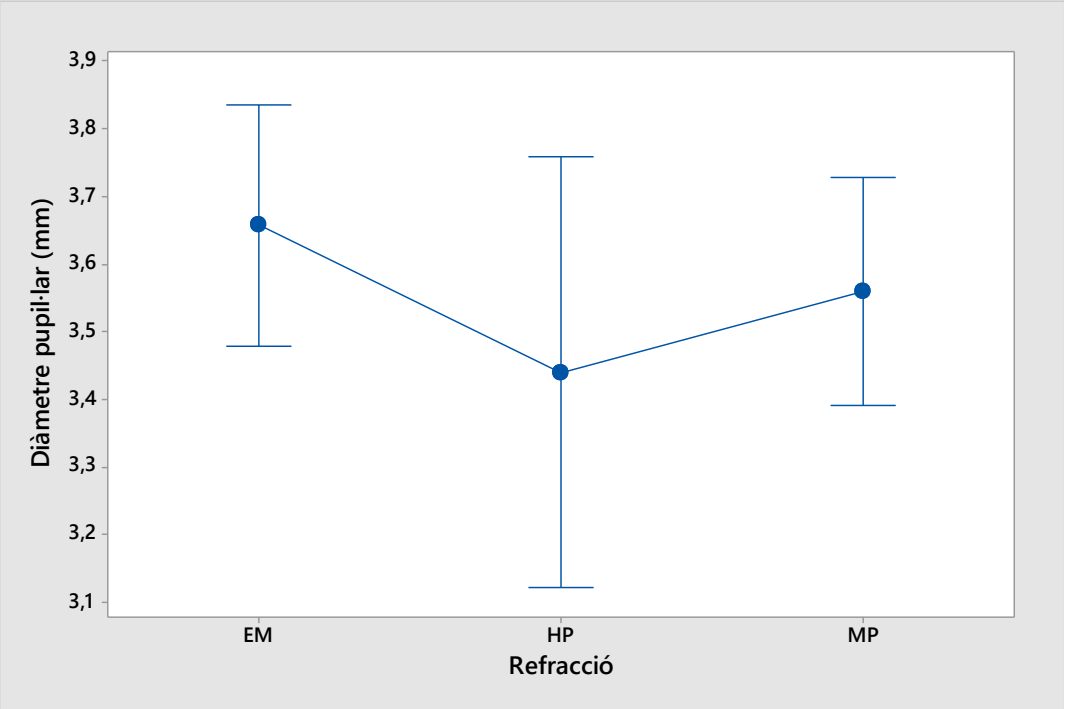
REFRACCIÓ	MOSTRA	MITJANA(mm)	DESV.EST. (mm)	MÀXIM (mm)	MÍNIM (mm)	Valor p
Emmetropia	38	3,65	0,56	5,04	2,29	**0,464**
Hipermetropia	12	3,44	0,50			
Miopia	43	3,56	0,56			

Taula 3. Mitjanes i desviacions estàndards del diàmetre pupil·lar en funció de la refracció i p valor obtingut amb l'ANOVA.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

En la gràfica 2, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança del diàmetre pupil·lar en funció de la refracció.

DEPENDÈNCIA AMB EL DEFECTE REFRACTIU



Gràfica 2. Mitjanes i intervals de confiança del diàmetre pupil·lar en funció de l'estat refractiu.

La Taula 3 i la gràfica 2 mostren que el diàmetre pupil·lar no presenta diferències significatives en funció de la refracció.

En la taula 4, es mostren les mitjanes i les desviacions estàndards del factor de conversió en pix/mm per a cada estat refractiu.

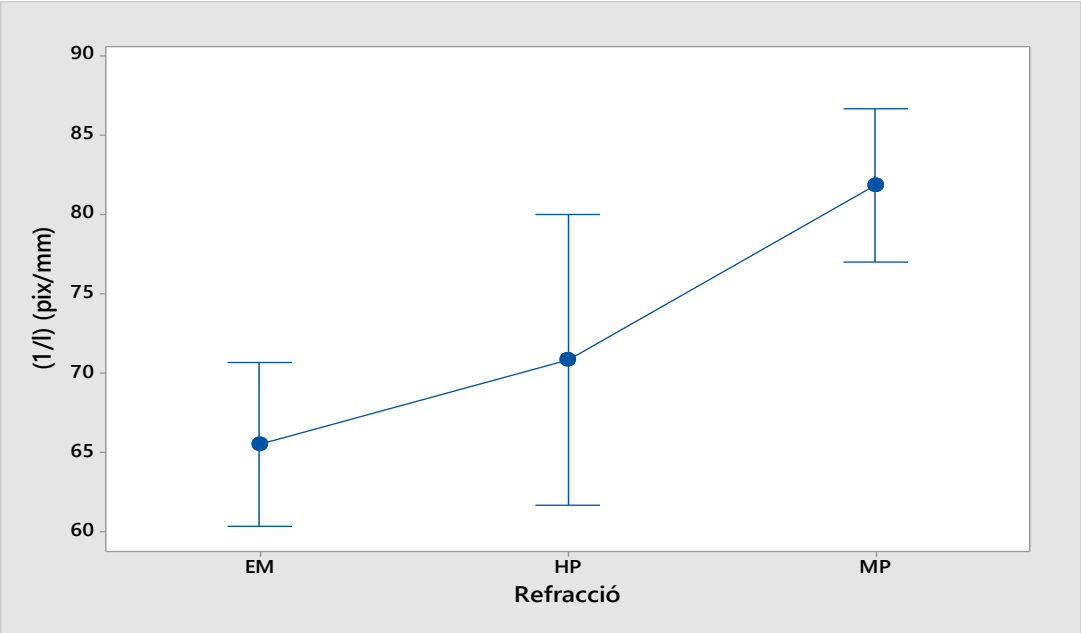
REFRACCIÓ	MOSTRA	MITJANA(pix/mm)	DESV.EST. (pix/mm)	MÀXIM (pix/mm)	MÍNIM (pix/mm)	Valor p
Emmetropia	38	65,49	15,49	103,57	50,13	**<0,001**
Hipermetropia	12	70,79	19,93			
Miopia	43	81,78	15,12			

Taula 4. Mitjanes i desviacions estàndards del factor de conversió pupil·lar en pix/mm en funció de la refracció i p valor obtingut amb l'ANOVA.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

En la gràfica 3, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança del factor de conversió en pix/mm en funció de la refracció.

DEPENDÈNCIA AMB EL DEFECTE REFRACTIU



Gràfica 3. Mitjanes i intervals de confiança del factor de conversió en pix/mm en funció de l'estat refractiu.

La Taula 4 i la gràfica 3 mostren que el factor de conversió en pix/mm presenta diferències significatives en funció de la refracció. Concretament els miops presenten una àrea mitjana pupil·lar en pix/mm superior als emmetrops i als hipermetrops.

En la taula 5, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança de l'àrea pupil·lar en píxels en funció de la dominància.

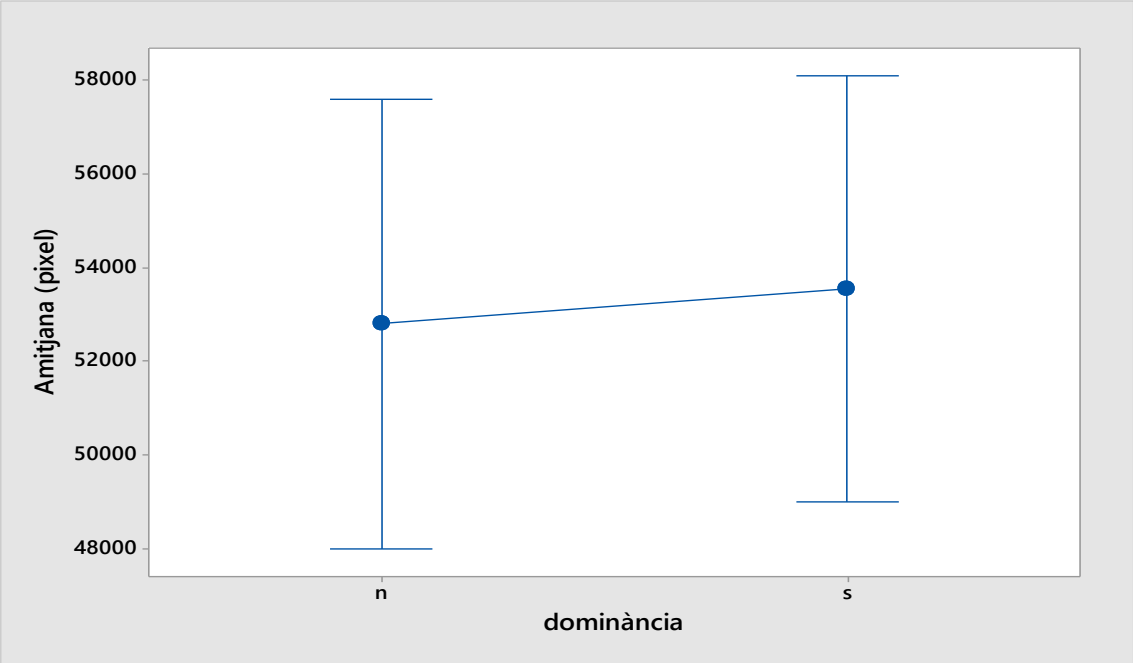
Dominància	Mostra	Mitjana (pix.)	DES.EST. (pix.)	Valor p
No dominant	44	52809	14892	**0,822**
Si dominant	49	53557	16921	

Taula 5. Mitges i desviacions estàndards de l'àrea pupil·lar en píxels en funció de la dominància i p valor obtingut amb l'ANOVA.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

En la gràfica 4, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança de l'àrea pupil·lar en píxels en funció de la dominància.

DEPENDÈNCIA AMB LA DOMINÀNCIA



Gràfica 4. Mitjanes i intervals de confiança de l'àrea pupil·lar en píxels en funció de la dominància.

La Taula 5 i la gràfica 4 mostren que l'àrea pupil·lar en píxels no presenta diferències significatives en funció de la dominància.

En la taula 6, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança del diàmetre pupil·lar en funció de la dominància.

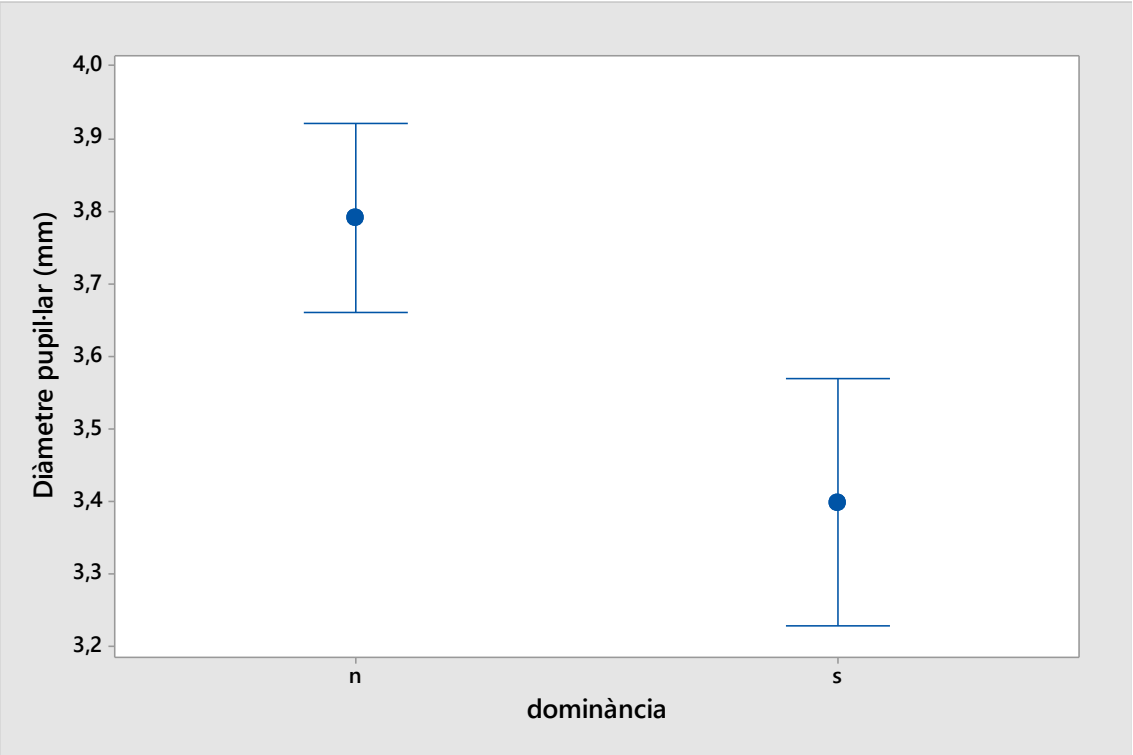
Dominància	Mostra	Mitjana (mm)	DES.EST. (mm)	Valor p
No dominant	44	3,79	0,42	**<0.001**
Si dominant	49	3,39	0,59	

Taula 6. Mitges i desviacions estàndards del diàmetre pupil·lar en funció de la dominància i p valor obtingut amb l'ANOVA.

En la gràfica 5, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança del diàmetre pupil·lar en funció de la dominància.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

DEPENDÈNCIA AMB LA DOMINÀNCIA



Gràfica 5. Mitjanes i intervals de confiança del diàmetre pupil·lar en funció de la dominància.

La Taula 6 i la gràfica 5 mostren que el diàmetre pupil·lar presenta diferències significatives en funció de la dominància. Els que no són dominants tenen un diàmetre pupil·lar superior als que sí dominants.

En la taula 7, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança del factor de conversió en pix/mm en funció de la dominància.

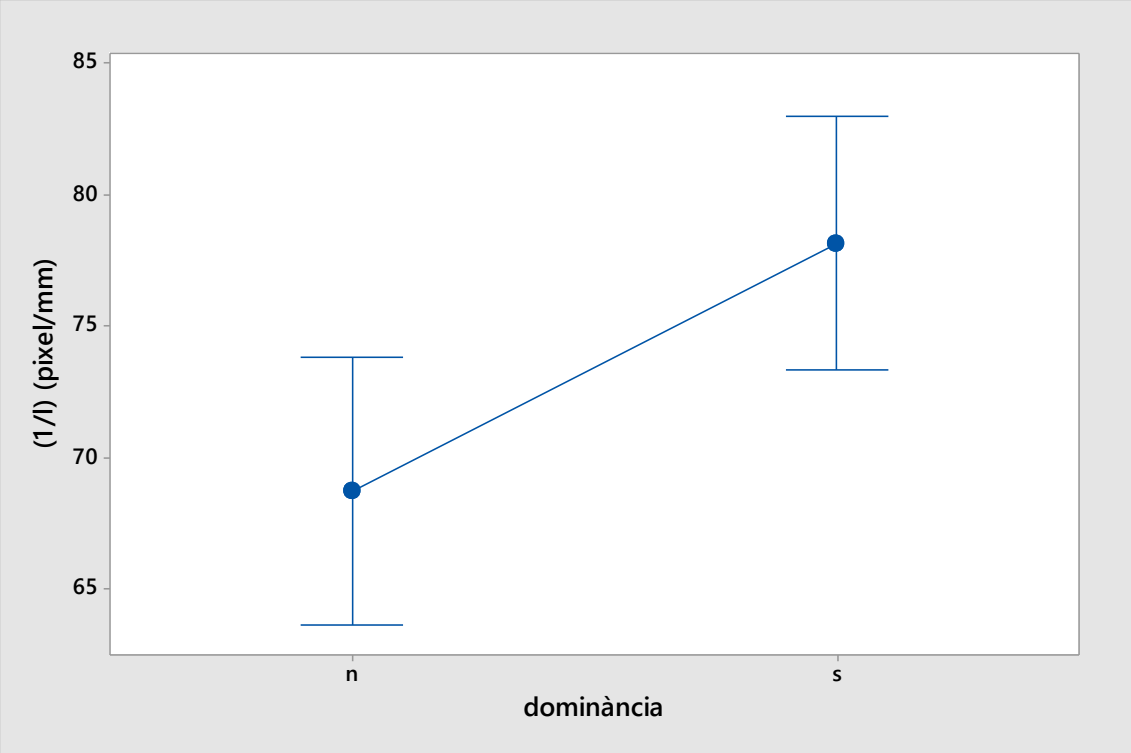
Dominància	Mostra	Mitjana (pix/mm)	DES.EST. (pix/mm)	Valor p
No dominant	44	68,75	14,63	**0,009**
Si dominant	49	78,15	18,86	

Taula 7. Mitges i desviacions estàndards del fator de conversió en pix/m en funció de la dominància i p valor obtingut amb l'ANOVA.

En la gràfica 6, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança del factor de conversió en pix/mm en funció de la dominància.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

DEPENDÈNCIA AMB LA DOMINÀNCIA



Gràfica 6. Mitjanes i intervals de confiança del factor de conversió pix/mm en funció de la dominància.

La Taula 7 i la gràfica 6 mostren que el factor de conversió en pix/mm presenta diferències significatives en funció de la dominància. Els que no són dominants tenen un factor de conversió en pix/mm inferior als que sí dominants.

En la taula 8, es mostren les mitjanes i les desviacions estàndards del diàmetre pupil·lar en segons el sexe.

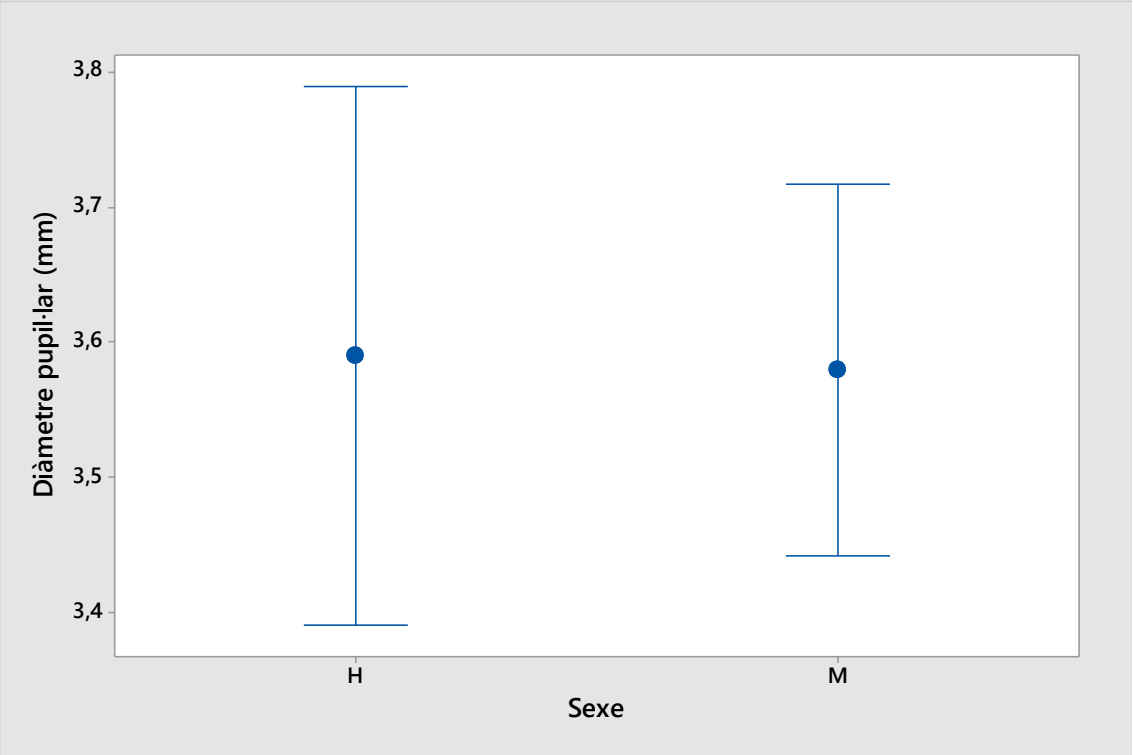
Sexe	Mostra	Mitjana (mm)	DES.EST. (mm)	Valor p
Home	41	3,59	0,63	**0,932**
Dona	52	3,58	0,49	

Taula 8. Mitges i desviacions estàndards del diàmetre pupil·lar en funció del sexe i p valor obtingut amb l'ANOVA.

En la gràfica 7, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança del diàmetre pupil·lar en funció del sexe.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

DEPENDÈNCIA AMB EL SEXE



Gràfica 7. Mitjanes i intervals de confiança del diàmetre pupil·lar en funció del sexe.

La Taula 8 i la gràfica 7 mostren que el diàmetre pupil·lar no presenta diferències significatives en funció del sexe.

En la taula 9, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança de l'àrea pupil·lar en píxels en funció del sexe.

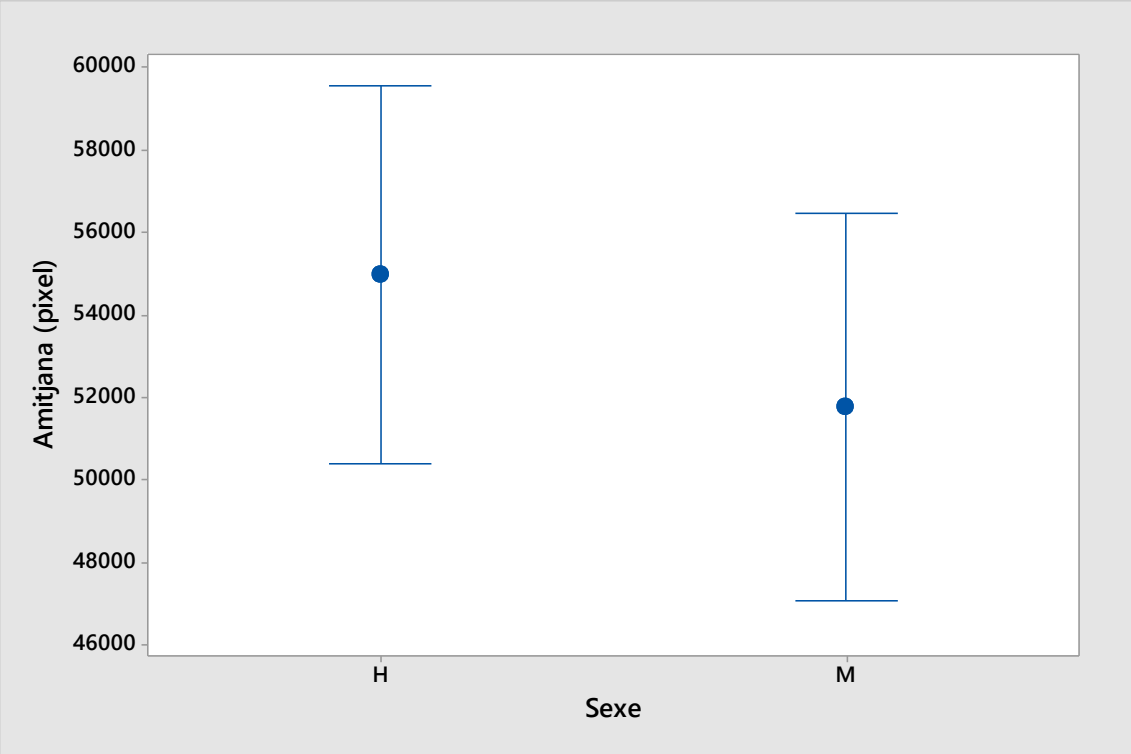
Sexe	Mostra	Mitjana (pix.)	DES.EST. (pix.)	Valor p
Home	41	55003	14526	**0,327**
Dona	52	51784	16928	

Taula 9. Mitges i desviacions estàndards de l'àrea pupil·lar en píxels en funció del sexe i p valor obtingut amb l'ANOVA.

En la gràfica 8, es veuen representats les mitjanes i els intervals de confiança de l'àrea pupil·lar en píxels en funció del sexe.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

DEPENDÈNCIA AMB EL SEXE



Gràfica 8. Mitjanes i intervals de confiança de l'àrea pupil·lar en píxels en funció del sexe.

La Taula 9 i la gràfica 8 mostren que l'àrea pupil·lar en píxels no presenta diferències significatives en funció del sexe.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

7. DISCUSSIÓ

El principal objectiu d'aquest treball es determinar la influencia de l'estat refractiu en la mida del diàmetre pupil·lar.. A continuació analitzem i contextualitzem els resultats obtinguts per tal de contrastar-los amb els publicats anteriorment.

Pel què fa als valors del diàmetre pupil·lar obtinguts, en l'estudi de Hirsch i Weymouth en 1949, observem que són majors als del nostre treball. Els miops presenten un valor de 5,23 mm en front als 3,56 del nostre estudi, els emmetrops 4,79 mm en front als 3,65 mm i els hipermetrops 4,35 en comparació als 3,44 del present treball. Això es pot explicar per diferències en els mètodes de mesura, l'edat de la mostra, en el nivell d'il·luminació o la distància de fixació dels subjectes.

En un estudi de Xiaogang Wang, Jing Dong, Qiang Wu al 2014, els valors del diàmetres pupil·lars mitjans són semblant als que hem obtingut nosaltres (Mitjana.3,04 mm; Min. 1,24; Màx. 4,87), encara que els nostres valors màxims i mínims són lleugerament superiors (Màx.5,04; Mín. 2,29). A més, també van estudiar la profunditat de la càmera anterior, com sabem, relacionada directament amb el diàmetre pupil·lar, la qual va resultar de 3,03 mm (Min. 1,89; Màx. 3,83 mm).

Pel què fa a la relació entre el diàmetre pupil·lar i el defecte refractiu, els nostres resultats mostren un comportament diferent depenent de si ens fixem en el valor d'Am (en píxels) o en el diàmetre pupil·lar (en mm). En el primer cas el resultat obtingut seria coincident amb el que publicaven (Cakmak HB et al. 2010; Lowenstein – Irene Loewenfeld, 1999), segons els quals els subjectes miops presenten un DP superior que els emetrops. Quan els valors en píxels son transformats en mm aplicant el factor de conversió corresponent, no trobem diferències significatives entre els diferents estats refractius, coincidint, en aquest cas amb els autors, (; Orr JB, 2015; Ronald J, 1990).

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

Aquesta diferència entre considerar Am i el diàmetre pupil·lar s'explica a partir del fet que els factors de conversió, tal i com es pot veure a l'apartat de resultats, també presenten diferències significatives en funció del defecte refractiu. Aquest fet i l'experiment que s'ha realitzat, segons el qual hi ha una dependència significativa de la relació píxels/mm en funció del pla d'enfocament, ens fa pensar que el pla que conté la pupil·la d'entrada dels subjectes és diferent.

Aquests resultats ens fan pensar que és important, en aquest muntatge experimental, determinar un factor de conversió píxels/mm per a cada un dels ulls, donat que diferències anatòmiques i en els paràmetres oculars condicionen el pla on es forma la pupil·la d'entrada.

De cara a futurs treballs seria interessant conèixer els paràmetres oculars de cada pacient per tal de fer un càlcul més personalitzat de la ubicació del pla de la pupil·la d'entrada.

Si analitzem el diàmetre pupil·lar segons el sexe, el nostre estudi hem obtingut uns resultats que mostren que no hi ha diferencia entre homes i dones. Els homes presenten un diàmetre pupil·lar de 3,59±0,63 mm, mentre que les dones de 3,58±0,49 mm. Els nostres resultats no concorden el estudi de Sanchis-Gimeno Juam A. al 2012 que afirmen que les dones presenten major diàmetre pupil·lar.

Per una altra banda, altres autors com Xiaogang Wang o Ronald Jones sí que van obtenir uns resultats que coincideixen amb el nostre estudi sobre la relació entre en diàmetre pupil·lar i el sexe del pacient. En el cas del primer autor els diàmetres pupil·lars mitjans resultants van estar entre de 3,1-3,0 mm en homes i 2,9-2,8 mm en dones (Xiaogang Wang et al. 2013).

Pel que fa a la dominància ocular ocular trobem que el diàmetre pupil·lar és significativament superior en l'ull no dominant. Aquests resultats no els podem contrastar amb altres estudis, ja que no n'hem trobat de publicats que avaluïn el diàmetre pupil·lar segons la dominància ocular. En futurs treballs seria interessant replicar aquesta part de l'experiment amb una mostra més gran per veure si es confirma aquest resultat.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

També seria interessant que en futurs treballs s'ampliés la mostra equilibrant el número de participants pels tres grups de defecte refractiu. També seria recomanable fer una mesura precisa del defecte refractiu i dividir-los en grups, en funció de la magnitud del defecte.

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

8. CONCLUSIONS

- S'ha realitzat un muntatge experimental per mesurar el diàmetre pupil·lar a partir del registre de la imatge de la cara anterior de l'ull amb una càmera fotogràfica digital, mantenint constants i uniformes les condicions d'il·luminació i la distància de fixació.

- S'ha realitzat l'anàlisi de les imatges obtingudes del diàmetre pupil·lar a traves d'un programa anomenat Imagej, , obtenint l'àrea que ocupa la pupil·la en la imatge obtinguda (expressada en píxels).
- S'han obtingut coeficients de transformació de píxels a mm de radis pupil·lar per cadascuna de les imatges dels segment anterior. Mitjançant aquest factor hem obtingut el valor del diàmetre pupil·lar per cada subjecte

- Hem realitzat una anàlisi de variància del diàmetre pupil·lar mitjançant un contrast ANOVA unidireccional considerant els factors: error refractiu, sexe i dominància ocular. Les conclusions més destacades d'aquest anàlisi van ser:

- No hi ha diferencies significatives en el diàmetre pupil·lar en funció l'error refractiu.

- Existeix una diferència significativa en l'àrea pupil·lar en píxels segons la refracció. Els miops presenten un valor més elevat en front als emmetrops i hipermetrops que presenten valors similars.

- El factor de transformació de píxels a mm, que s'ha calculat per a cada imatge, presenta diferències significatives en funció del defecte refractiu.

- No hem trobat diferències significatives en el diàmetre pupil·lar en funció el sexe.

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

- Hem trobat diferències significatives en el diàmetre pupil·lar en funció de la dominància ocular. L'ull no dominant presenta un valor de diàmetre pupil·lar significavament superior.

Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa
© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

9. BIBLIOGRAFIA

- Almudena Duquea, Carmelo Vázquez. Clinical implications of the use of pupil size as an index of psychological activity: A brief review. Clínica y Salud 24 (2013) 95-101 - Vol. 24 Núm.

- Alexandridis E: The Pupil, Telger T, translator. New York, Springer-Verlag, 1985, p. 11. American Optometric Association. Care of the patient with myopia. ww.aoa.org/documents/CPG-15.pdf (14 de abril de 2014).

- Cakmak HB, Cagil N, Simavli H, Duzen B, Simsek S. Refractive error may influence mesopic pupil size.Curr Eye Res. 2010 Feb; 35(2):130-6.

- Calcagnini, G., Censi , F., Lino, S., Cerutti, S.. Pupil diameter variability in humans. Proceedings of the 22nd Annual International Conference , July 23-28, 2000, Chicago IL.

- Comastri, Echarri R, Colombo E y Issolio L. (2004). Relación entre Iluminación Ambiente, Tamaño Pupilar y Agudeza Visual.

- Factors Affecting Light-Adapted Pupil Size in Normal Human Subjects.Barry Winn,* David Whitaker,-f David B. Elliott, % and Nicholas J. Phillips^. Investigative Ophthalmology & Visual Science, March 1994, Vol. 35, No. 3 Copyright © Association for Research in Vision and Ophthalmology.

- Fidias E. Léeon-Sarmiento, Didier G. Prada, Claudia Gutiérrez. Pupila, pupilometría y

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

pupilografía. Acta Neurol Colomb 2008; 24:188-197.

- Foster PJ1, Alsbirk PH, Baasanhu J, Munkhbayar D, Uranchimeg D, Johnson GJ. Anterior chamber depth in Mongolians: variation with age, sex, and method of measurement. Am J Ophthalmol. 1997 Jul; 124(1):53-60.

- Fredrik, Douglas. Myopia. BMJ 2002; 324:1195-9.

- Furlan W, García J, Muñoz L; Refracción ocular. Acomodación y ametropías. En: Furlan W, García J, Muñoz L; Fundamentos de optometría; Valencia: Publicacions de la Universitat de València; 2009 (2ª edición): Pág. 15-81.

- Gillon Michel Guillon,Kathryn Dumbleton, Panagiotis Theodoratos, Marine Gobbe, C. Benjamin Wooley,and Kurt Moody. The Effects of Age, Refractive Status, and Luminance on Pupil Size. Optom Vis Sci. 2016 Sep; 93(9): 1093–1100.

-

- Gutiérrez M. La Pupila. Bogotá: Universidad Nacional, 1989.

- Hachol, A., Szczepanowska-Nowak, W., Kasprzak, H., Zawojska, I., Dudzinski, A., Kinasz , R., Wygledowska-Promienska, D. Measurement of pupil reactivity using fast pupillometry. Physiological Measurement, 2007 Nov; 28:61- 72.

- Hirsch Mj, Weymouth Fw J. Pupil size in ametropia. Appl Physiol. 1949 Mar; 1(9):646-8.

- Jones R. Do women and myopes have larger pupils? Invest Ophthalmol Vis Sci. 1990; 31:1413-1415.

- Juan A. Sanchis-Gimeno, Daniel Sanchez-Zuriaga, Francisco Martinez-Soriano. "White-to-white corneal diameter, pupil diameter, central corneal thickness and thinnest

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats

corneal thickness values of emmetropic subjects". Surgical and Radiologic Anatomy (2012) 34:167–170. DOI 10.1007/s00276-011-0889-4.

- Lang Gerhard, K. (2006). Oftalmologìa. 2 ediciòn.Pupila. P 221-233.

- Linke SJ, Baviera J, Munzer G, Fricke OH, Richard G, Katz T. Mesopic pupil size in a refractive surgery population (13,959 eyes). Optom Vis Sci. 2012 Aug; 89(8):1156-64.

- Lowenstein O, Lowenfeld IE. The pupil. In: Davson H, ed. The Eye. New York: Academic Press; 1969:255- 337.

- Mc Donell C, Rolincova M, Venter. Comparison of measurament of pupil sizes among the colvard pupillometer, proycon pupillometer, and NIDEK ODP-scan J Refract Surg. 2006.

- Michael D Twa, OD, MS, Melissa D Bailey, OD, MS, John Hayes, PhD, Mark Bullimore, McOptom, PhD. Estimation of pupil size by digital photograph. Ohio State University College of Optometry, Columbus, OH, USA.

- Michel, A W., Krongerg, B.P., Narvaez, J., Zimmerman, G. Comparison of 2 multiple-measurement infrared pupillometers to determine scotopic pupil diameter. J. Cataract Refract Surg, 2006 Nov; 32:1926-1931.

- Montes-Micó R, Ferrer-Blasco T. "Distribution of refractive errors in Spain". Doc Ophthalmol. 2000; 101:25-33.

- Netto MV, Ambrósio R Jr, Wilson SE J. Pupil size in refractive surgery candidates. Refract Surg. 2004 Jul-Aug; 20(4):337-42.

- Orr JB, Seidel D, Day M, Gray LS. Is Pupil Diameter Influenced by Refractive Error?

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

Optom Vis Sci. 2015 Jul; 92(7):834-40.

- Otto Lowenstein – Irene Loewenfeld. The pupil, Anatomy, Physiology, and clinical Applications. Volumen I, Editorial ButterHeinemann. 1999. Estados unidos de América.

- Otto Lowenstein – Irene Loewenfeld. (1999). The pupil, Anatomy, Physiology, and clinical Applications. Editorial Butter-Heinemann. Estados unidos de América.

- PORTNOY JZ, Thompson HS, Lennarson L, Corbett JJ. Pupillary defects in abmlyopia. 1983. Noviembre.

- Rüfer F[1], Schröder A, Klettner A, Frimpong-Boateng A, Roider JB, Erb C. Anterior chamber depth and iridocorneal angle in healthy White subjects: effects of ag e, gender and refraction. Acta Ophthalmol. 2010 Dec; 88(8):885-90.

- S.A. Comastri, R. Echarri, E. Colombo y L. Issolio. (2004). Relación entre Iluminación Ambiente, Tamaño Pupilar y Agudeza Visual.

- Schnitzler Eva María, MD; Baumeister, MD. (2000). Scotopic Measurement of Normal pupils: Colvard versus Video Vision Analyzer Infrared Pupillometer. ASCRS and ESCRS.

- Tanja M Rabsilber, MD, Klio A Becker, MD,Inez B Frisch, MD, Gerd U Auffarth, MD. Anterior chamber depth in relation to refractive status measured with the Orbscan II Topography System Department of Ophthalmology, Ruprecht-Karls-University of Heidelberg, Heidelberg, Germany, November 2003 Volume 29, Issue, Pages 2115-2121.

- Wang X, Wu Q (2013) Investigation of the human anterior segment in normal Chinese subjects using a dual Scheimpflug analyzer. Ophthalmology 120: 703– 708.

- Winn, B., Whitaker, D., Elliot, D.B., Phillips, N.J., Factors affecting lightadapted pupil size

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*

in normal human subjects. Investigate Ophthalmology & Visual Science, 1994 March; 35(3):1132-1137.

- Wyatt, H.J., The form of the human pupil. Vision Research, 1995; 35(14):2021-2036

- Zinn KM: The Pupil. Springfield, Charles C. Thomas Publisher, 1972, p. 44.

© *Universitat Politècnica de Catalunya, any 2016. Tots els drets reservats*