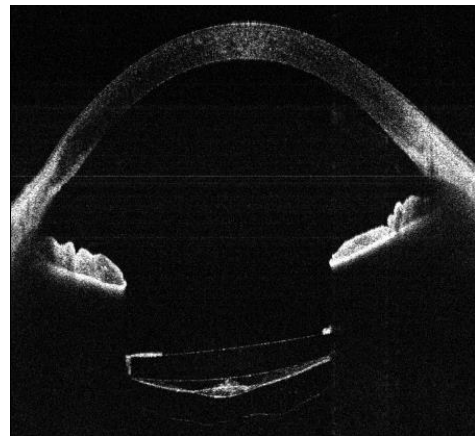
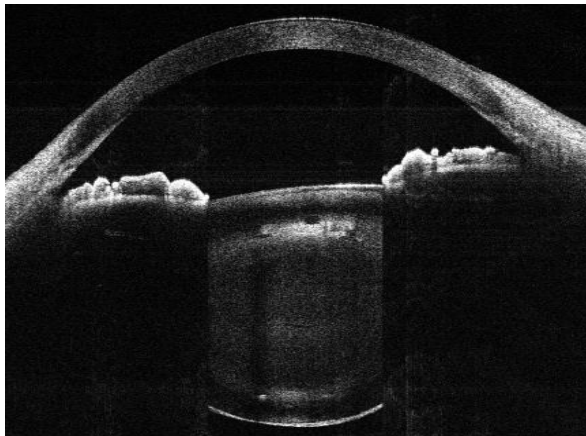




MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

TREBALL FINAL DE MÀSTER

MESURA DE PARÀMETRES RELLEVANTS DEL SEGMENT ANTERIOR DE L'ULL MITJANÇANT UN NOU SISTEMA OCT



JOSÉ LUÍS FERNÁNDEZ TRULLÀS

JAUME PUJOL RAMO
ANA RODRÍGUEZ ARAMENDÍA
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

TERRASSA, 10 DE JUNY DE 2020



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

El Sr. Jaume Pujol Ramo i la Sra. Ana Rodríguez Aramendía, com a director del treball i com a tutora del treball.

CERTIFIQUEN

Que el Sr. José Luís Fernández Trullàs ha realitzat sota la seva supervisió el treball MESURA DE PARÀMETRES RELLEVANTS DEL SEGMENT ANTERIOR DE L'ULL MITJANÇANT UN NOU SISTEMA OCT que es recull en aquesta memòria per optar al títol de màster en optometria i ciències de la visió.

I per a què consti, signo/em aquest certificat.

Sr. Jaume Pujol Ramo
Director del treball

Sra. Ana Rodríguez Aramendía
Tutora del treball

Terrassa, 10 de juny de 2020



MÀSTER UNIVERSITARI EN OPTOMETRIA I CIÈNCIES DE LA VISIÓ

MESURA DE PARÀMETRES RELLEVANTS DEL SEGMENT ANTERIOR DE L'ULL MITJANÇANT UN NOU SISTEMA OCT

RESUM

L'estudi del segment anterior mitjançant instruments basats en OCT és del vital importància en la pràctica clínica. Els instruments actuals tenen una baixa profunditat d'imatge i només permeten veure la cambra anterior. Per superar aquesta limitació, s'ha desenvolupat una nova OCT que permet obtenir imatges completes del segment anterior, inclòs el cristal·lí. Una de les patologies que afecten aquest segment són les cataractes, principal causa de ceguera mundial reversible provocades per l'opacitat del cristal·lí. Actualment, el seu diagnòstic es realitza subjectivament a través de la seva observació amb làmpada d'esclatxa.

En aquest treball s'estudien les possibles aplicacions clíniques d'un nou sistema OCT de segment anterior complet, fent èmfasi en cristal·lins amb cataractes. Per això, s'han obtingut imatges de 90 pacients (180 ulls) diagnosticats de cataractes com a mínim d'un ull amb el prototip desenvolupat, així com amb l'OCT Visante i l'IOL Master 700, en les instal·lacions del l'Institut de Microcirurgia Ocular (IMO).

Els resultats mostren que aquest nou sistema d'OCT permet explorar més detalladament el segment anterior permetent veure tant canvis en la transparència d'estructures i la seva morfologia, com l'extracció fiable de diferents paràmetres oculars de rellevància en diferents patologies oculars. S'ha observat que l'elevada resolució i la capacitat de representació en 3D del prototip, permeten una descripció completa dels canvis microestructurals en cristal·lins afectats per cataractes.



MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

MEDIDA DE PARÁMETROS RELEVANTES DEL SEGMENTO ANTERIOR DEL OJO MEDIANTE UN NUEVO SISTEMA OCT

RESUMEN

El estudio del segmento anterior mediante instrumentos basados en OCT es de vital importancia en la práctica clínica. Los instrumentos actuales tienen una baja profundidad de imagen y solo permiten ver la cámara anterior. Para superar esta limitación, se ha desarrollado una nueva OCT que permite obtener imágenes completas del segmento anterior, incluido el cristalino. Una de las patologías que afectan este segmento son las cataratas, principal causa de ceguera mundial reversible provocadas por la opacidad del cristalino. Actualmente, su diagnóstico se realiza subjetivamente a través de su observación con lámpara de hendidura.

En este trabajo se estudian las posibles aplicaciones clínicas de un nuevo sistema OCT de segmento anterior completo, haciendo énfasis en cristalinicos con cataratas. Para esto, se han obtenido imágenes de 90 pacientes (180 ojos) diagnosticados de cataratas como mínimo de un ojo con el prototipo desarrollado, así como la OCT Visante y el IOL Master 700, en las instalaciones del Instituto de Microcirugía Ocular (IMO).

Los resultados demuestran que este nuevo sistema de OCT permite explorar con más detalle el segmento anterior permitiendo ver tanto cambios en la transparencia de las estructuras y su morfología, como la extracción fiable de diferentes parámetros oculares de relevancia en diferentes patologías oculares. Se ha observado que la elevada resolución y capacidad de representación en 3D del prototipo, permiten una descripción completa de los cambios microestructurales en cristalinicos afectados por cataratas.



UNIVERSITY MASTER'S DEGREE IN OPTOMETRY AND VISION SCIENCES

MEASUREMENT OF RELEVANT PARAMETERS OF THE ANTERIOR SEGMENT OF THE EYE WITH A NEW OCT SYSTEM

ABSTRACT

The study of the anterior segment using OCT-based instruments is of vital importance in the clinical practice. Conventional instruments feature a limited imaging depth range and only image the anterior chamber. To overcome this limitation, a new OCT prototype that allows obtaining images of the whole anterior segment, including the lens, has been developed. One of the pathologies that affects this segment are cataracts, which are the main cause of worldwide reversible blindness, caused by the opacification of the lens. Currently, its diagnosis is made subjectively through its observation with a slit lamp.

In this work, we study the clinical applications of this new OCT prototype, with an emphasis on patients diagnosed with cataracts. For this, 90 patients (180 eyes) diagnosed with cataracts in at least one eye, have been imaged with developed prototype, as well as with the Visante OCT and the biometer IOL Master 700, in the premises of the Institute of Ocular Microsurgery (IMO).

The results show that this new OCT system permits to explore the anterior segment in more detail, allowing us to see both changes in the transparency of the structures and their morphology, as well as the reliable extraction of different ocular parameters of relevance in different ocular pathologies. It has been observed that the high resolution and 3D representation capabilities of the prototype allow a comprehensive description of microstructural changes in cataract-affected lenses.

AGRAÏMENTS

Un cop arribat a la recta final del màster, només em queda donar les gràcies a tota aquella gent que m'ha ajudat i ha estat al meu costat en tot moment des del seu inici, ja que sense ells no hagués estat possible la seva realització.

Per començar vull agrair als meus tutors Jaume Pujol Ramo i Ana Rodríguez Aramendía per brindar-me l'oportunitat de poder realitzar aquest treball tant interessant i innovador d'investigació. Els vull agrair la seva gran dedicació des de l'inici del treball, la gran inversió de temps que hi han dedicat, i la gran ajuda que m'han proporcionat a l'hora de realitzar i redactar el treball. En especial a l'Ana Rodríguez que està fent la seva tesi doctoral amb qui he estat mà a mà en tot moment des de l'inici, durant la investigació i sempre que ha sorgit algun problema.

En segon lloc, al CD6 que ha participat en el desenvolupament de la nova OCT anterior utilitzada durant el projecte i al Pol Falgueras, que va realitzar també un TFM complementari al treball realitzat, amb el qual va poder desenvolupar un software molt útil amb el que vam poder extreure mesures amb la nova OCT.

A tot el personal de l'IMO pel bon tracte rebut des del principi i la seva col·laboració desinteressada durant la presa de mesures en el centre, ajudant sempre a que poguéssim aconseguir pacients per poder dur a terme la investigació. També als metges que han col·laborat perquè poguéssim agafar als seus pacients, tot i alguns no participar inicialment en el projecte, i el seu interès per la investigació. També agrair a tots els pacients de l'IMO que han participat durant l'estudi de manera desinteressada sense posar cap pega, ja que requeria certa inversió de temps poder realitzar les proves del l'estudi.

Als meus companys del màster, que tots sabem que ha sigut un temps bastant intens amb moments difícils i de desànim, però tot això es supera amb les grans amistats que hem pogut fer i els grans moments inoblidables de molts riures, desconnexió i recolzament.

En especial també els vull agrair a la meva família, sobretot als meus pares Carolina i José, la meva germana Zaida, avis, tiets i cosins que sempre han estat al meu costat i han cregut amb mi en tot moment, donant-me suport per continuar endavant i superar tots els obstacles que se'm presentaven, ja que ha sigut un any molt intens amb molts canvis en la meva vida i presa de decisions importants, i tots ells m'han donat forces per continuar.

També a tots els meus amics i companys de pis, que tot i estar algunes temporades bastant absent, sé que sempre estan allà quan els necessito i m'han donat el mateix suport com si fossin de la meva pròpia família.

¡Moltíssimes gràcies a tots!

“El éxito es conseguir lo que persigues, la felicidad querer lo que consigues”

Anònim

ÍNDEX

1	Introducció.....	1
2	Marc teòric.....	3
	2.1 El segment anterior.....	3
	2.1.1 La còrnia.....	4
	2.1.2 El cambra anterior.....	4
	2.1.3 El cristal·lí.....	5
	2.2 Les cataractes.....	7
	2.2.1 Síntomes i signes.....	7
	2.2.2 Factors de risc.....	8
	2.2.3 Tipus de cataractes.....	8
	2.2.4 Diagnòstic i gradació.....	11
	2.3 OCT de segment anterior (Tomografia de Coherència Òptica).....	12
	2.3.1 Introducció a la tècnica de la Tomografia de Coherència Òptica.....	12
	2.3.2 OCT's de segment anterior i biometria basada en OCT.....	15
3	Objectius.....	18
4	Metodologia.....	19
	4.1 Material.....	19
	4.1.1 Instrumentació.....	19
	4.1.2 Programes informàtics.....	19
	4.2 Criteris d'inclusió/exclusió.....	20
	4.3 Mètode d'experimentació.....	21
	4.3.1 Selecció i reclutament del pacient en l'estudi.....	21
	4.3.2 Obtenció de les mesures amb sistemes comercials.....	21
	4.4 Obtenció de les mesures amb el prototip d'OCT.....	22
	4.5 Extracció de dades dels pacients.....	23
	4.6 Processament, anàlisi i muntatge de les imatges obtingudes amb el prototip d'OCT...23	
5	Resultats.....	25
	5.1 Descripció de la mostra.....	25
	5.2 Resultats obtinguts amb el prototip d'OCT.....	25
	5.2.1 Cataractes.....	26
	5.2.2 Glaucoma.....	30
	5.2.3 Altres patologies (Screening).....	30
	5.2.4 Intervencions quirúrgiques amb lents intraoculars.....	34
	5.2.5 Oculoplastia.....	36
	5.3 Comparativa amb sistemes comercials.....	37
6	Discussió.....	39
7	Conclusions.....	45
8	Futurs treballs.....	46
9	Bibliografia.....	47
	Annex I.....	52
	Annex II.....	54
	Annex III.....	55
	Annex IV.....	56

1. Introducció

En els darrers anys, s'ha incrementat l'interès per l'exploració del segment anterior de l'ull pel que ha sigut necessari trobar mètodes d'exploració d'aquesta part, per obtenir imatges de totes les estructures, així com les mesures biomètriques de diferents paràmetres oculars [1,2]. Aconseguir imatges i paràmetres oculars del segment anterior, permet poder fer un millor diagnòstic de patologies oculars que afecten aquest sector i que, a vegades, poden passar desapercebudes amb una exploració oftalmològica de rutina a través de la làmpada d'esclatxa [2]. A més, poder obtenir imatges permet a banda de tenir les patologies registrades, fer un seguiment de la seva progressió en el temps. Una de les patologies que es poden veure beneficiades d'una completa exploració del segment anterior és el glaucoma [2]. Aquesta és una patologia on l'afectació real es produeix en el nervi òptic que està en el segment posterior de l'ull, tot i això seran les característiques anatòmiques del segment anterior les que poden predisposar la seva aparició [2,3,4]. Per tant, es podrà fer una prevenció si es coneixen les característiques numèriques de la còrnia i la cambra anterior [3,4]. Una altra de les patologies que es poden veure molt beneficiades per una exploració completa del segment anterior, i que té una major prevalença que el glaucoma són les cataractes [3,5,6] que es formen en el cristal·lí i, per tant l'obtenció d'imatges d'aquest podria afavorir a fer un diagnòstic més precís.

Les cataractes són l'opacitat del cristal·lí que provoca una reducció de la visió de forma progressiva a mesura que va avançant la patologia [7,8], que pot ser parcial o total. Segons l'OMS (Organització Mundial de la Salut) és la causa més comuna de pèrdua de visió a partir dels 50 anys i la causa més important de ceguera al món [6,7]. L'any 2010 es va estimar que uns 39 milions de persones estaven cegues per aquesta causa, representant el 48% de casos amb deficiència visual al món [9,10]. La seva aparició principalment és deguda a l'envelliment natural del cristal·lí, però també pot aparèixer per altres causes com patologies sistèmiques (diabetis), mals hàbits personals (alcohol i tabac) i el medi ambient (exposició prolongada als rajos ultraviolats del sol) [7,9,10]. Per poder eliminar-les, l'únic tractament que hi ha és a través de la realització d'una cirurgia anomenada facoemulsificació, amb la qual es trenca el cristal·lí mitjançant ultrasons, s'expira i és substituït per una lent intraocular [7,8].

Una de les tècniques més utilitzades per poder agafar imatges d'estructures i teixits intraoculars és l'OCT (Tomografia de Coherència Òptica) [11]. És una prova basada en interferometria òptica, que calcula el retard temporal que es produeix en la llum que es reflecteix en els teixits oculars respecte una superfície de referència, comparant i superposant la llum reflectida generant interferències [11,12,13]. Aquesta tècnica inicialment es va dissenyar per obtenir imatges del pol posterior (màcula i nervi òptic) però degut les seves grans aplicacions de diagnòstic en la visualització i obtenció d'imatges de teixits, es va dissenyar també per poder avaluar el segment anterior [11,14,15]. Tot i això, els estudis per al desenvolupament de l'OCT s'han centrat en millorar les OCT posteriors deixant a banda les anteriors [14], per això hi ha gran quantitat d'aparells d'OCT dissenyats específicament per l'exploració de la retina i molt pocs dissenyats per l'exploració del segment anterior [11,14]. Tot i això, alguns d'aquests aparells de segment posterior, incorporen funcions per obtenir imatges del segment anterior amb l'aplicació d'una lent positiva per poder enfocar aquesta zona [15], encara que amb aquests no es poden obtenir imatges a diferents altures a la vegada, sinó que s'han d'agafar per zones. Inclús amb les OCT anteriors disponibles, no es pot captar tot el segment anterior ja que solament arriben fins la cara anterior del cristal·lí [16], per tant no es pot fer una exploració completa i es perd informació del cristal·lí i les cataractes. Degut a tot això, ha sigut necessari dissenyar una nova OCT anterior basada en una millor tecnologia Swept-Source (modificació de

la Spectral-Domain) [16,17], per tenir una penetració major en els teixits i així poder obtenir una imatge completa del segment anterior fins arribar a la cara posterior del cristal·lí, a més d'una millor resolució en les imatges [16,17]. D'aquesta manera es pot fer una valoració de les cataractes des d'un punt de vista diferent, com s'ha vist en varis estudis publicats recentment [18,19] i no cop s'ha fet fins ara, amb la seva exploració a través d'una làmpada d'esclatxa per poder fer el seu diagnòstic i gradació (tipus i grau d'opacitat) [8].

Una altre prova que es realitza a pacients amb cataractes, no per diagnosticar, sinó per poder fer el preoperatori de cataractes i calcular la potencia de la lent intraocular necessària [20,21], és la biometria òptica que s'utilitza per calcular la longitud axial ocular, tot i que també extreu altres paràmetres d'importància per fer el càlcul [20,21,22]. Aquesta és una tècnica que es basa en el mateix principi interferomètric que l'OCT, però en aquest cas solament per obtenir el valor de diferents paràmetres oculars [20,21,22].

En aquest treball es vol veure quines aplicacions clíniques pot tenir un prototip d'OCT que s'ha desenvolupat amb la tecnologia Swept-Source, que permet obtenir imatges completes del segment anterior del globus ocular des de la còrnia fins la cara posterior del cristal·lí, per poder diagnosticar i fer el seguiment de patologies que afecten aquesta zona, sobretot en l'estudi es vol veure les aplicacions que pot tenir a nivell d'exploració del cristal·lí. Es vol comprovar si a través de les imatges d'OCT es pot millorar el diagnòstic de les cataractes al poder observar la seva localització, extensió i maduresa, ja que el diagnòstic actualment es fa amb l'observació a través de làmpada d'esclatxa i visualització de l'estètica i coloració del cristal·lí, classificant la cataracta segons el sistema LOCS III que és molt subjectiu [8]. A més, també es vol determinar si es podria utilitzar per poder fer diagnòstics precoços d'inici d'aparicions d'opacitats en del cristal·lí, que no puguin ser observades a través de la làmpada d'esclatxa i veure si les imatges de l'OCT es podrien utilitzar per fer el seguiment de la progressió de la cataracta en el temps. Els pacients amb cataractes prèviament havien sigut diagnosticats per un oftalmòleg seguint el sistema LOCS III. A part, no solament es mostraran casos de pacients amb cataractes, sinó que es mostraran altres casos de patologies que afecten a altres zones del segment anterior que s'han considerat d'interès. En una segona part, es mostraran uns exemples de diferents paràmetres que es poden extreure a partir de les imatges d'aquesta OCT de diferents estructures oculars (còrnia, cambra anterior i cristal·lí), comparant-los amb altres sistemes que poden obtenir els mateixos, com són l'OCT Visante amb la que es poden obtenir valors d'estructures de la còrnia i cambra anterior [13,15,16], i la biometria òptica IOL Master 700, amb la que, a part de les esmentades, es pot obtenir també el valor del cristal·lí [20]. És important l'extracció d'aquests paràmetres ja que poden ser útils en la prevenció i detecció de patologies, i poden intervenir en cirurgies oculars com l'implant de lents intraoculars [20,21,22]. Per tant, aquest treball ha consistit en l'adquisició de dades de l'estudi, i s'ha centrat majoritàriament en el processament i estudi de les imatges obtingudes amb l'OCT en desenvolupament en pacients amb diferent grau de cataracta.

2. Marc teòric

Com s'ha descrit en la secció anterior, el tema central d'aquest estudi és l'ús d'un sistema d'OCT que permet obtenir imatges del segment anterior complet. En particular s'exploraran les aplicacions clíniques d'aquest, fent èmfasi en pacients diagnosticats amb cataractes.

Per aquesta raó, el marc teòric s'ha estructurat en tres parts. En la primera s'ofereix una descripció del segment anterior del l'ull humà, fent èmfasi en la fisiologia del cristal·lí, regió en la qual es desenvolupen les cataractes. La segona part es dedica a una descripció més detallada de les cataractes que inclou el seu origen, classificació i diagnòstic. Finalment, la tercera part es centra en la tècnica de l'OCT, en particular als sistemes desenvolupats específicament per aquest estudi del segment anterior.

2.1 El segment anterior

L'ull humà és un òrgan que es comporta com un sistema òptic encarregat de donar la base al sentit de la visió. Estructuralment, està dividit en dues zones: el segment anterior i posterior [23,24,25,26]. El segment anterior és la parta més externa del globus ocular que comprendria la zona que va de la cara anterior de la còrnia fins la cara posterior del cristal·lí [23,26]. A part del cristal·lí, en aquesta zona també hi ha estructures d'importància en la clínica com són la còrnia, la cambra anterior i l'iris, a més d'una substància líquida anomenada humor aquós. Aquest segment està subdividit en dues parts que corresponen a la cambra anterior, que s'estén des de la part posterior de la còrnia fins a l'iris i la cambra posterior, que va de l'iris al cristal·lí. Aquestes dues cambres estan plenes d'humor aquós [23,25,26]. Les diferents parts de l'ull es poden veure en la Fig. 2.1 (a). En total, el segment anterior correspondria a 1/3 del total del volum ocular [27] i 2/3 al segment posterior que està format per la cambra vítria (plena d'una substància líquida anomenada humor vitri) i la retina [23,26,27,28]. Com es pot veure en la Fig. 2.1 (b) cada estructura tindrà unes característiques diferents [24].

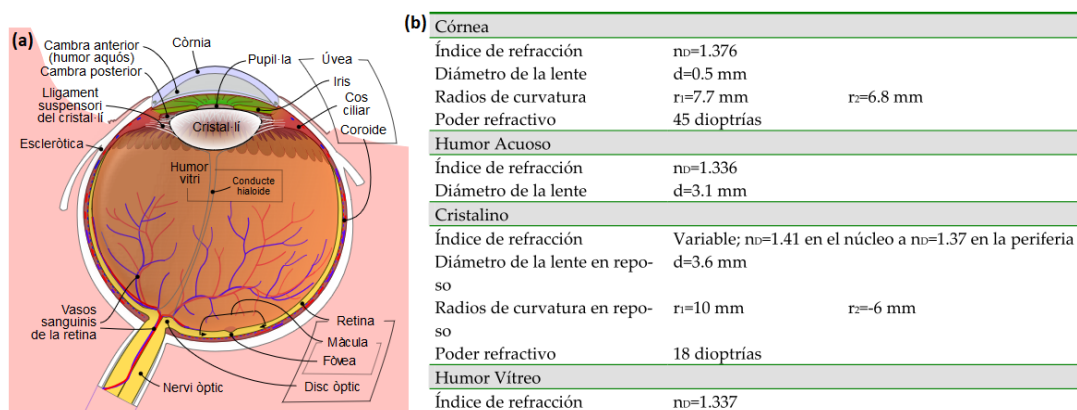


Fig. 2.1: (a) Estructures que formen el sistema ocular [29]. (b) Paràmetres normalitzats de les diferents estructures que formen l'ull [30].

L'avaluació del segment anterior és molt important per l'estudi de la prevenció i visualització de patologies oculars, de les quals les més importants serien el glaucoma [1,2,31] i les cataractes. Tot i que les cataractes es formen en el mateix cristal·lí, pel que la seva simple visualització seria suficient per poder diagnosticar-les [8], en el cas del glaucoma no és l'observació del segment anterior la que permet diagnosticar-la, sinó que és veure les característiques del segment anterior (gruix corneal, amplitud de la cambra anterior i angle iridocorneal) que poden contribuir a desenvolupar-lo [1,2], i que podran influir en un augment de la pressió intraocular, amb la conseqüent afectació del nervi òptic, que és on realment es produeix l'afectació [31].

2.1.1 La còrnia

És la primera estructura ocular per on passa la llum amb poder refractiu, amb la funció de refracció (focalització dels rajos de llum) i barrera de protecció ocular contra agents externs. Es comporta com una lent biconvexa amb una potència diòptrica aproximada d'unes +42-45D i té un índex de refracció de 1,376 [32,33]. La seva estructura és ovalada en forma d'el·lipse prolata, presentant una curvatura en les seves dues cares; la curvatura anterior mitja és de 7,8mm i la posterior de 6,2-6,8mm [32,33]. La seva forma tampoc és regular ja que aquesta presenta una major curvatura en la seva part central i es va aplanant cap a la perifèria. A més, el seu radi també pot variar en els diferents eixos, pel que es poden tenir còrnies esfèriques (tenint el mateix radi en tots els eixos) o tòriques (tenint diferents radis en funció de l'eix, normalment n'hi ha dos de principals, un de major radi i un altre de menor) [32,34]. La valoració del seu gruix és important en casos de patologies com el glaucoma. Estudis demostren que el gruix mig central és de 550µm (oscil·lant entre 450-650µm), augmentant a mesura que anem a la perifèria fins poder arribar a les 1000µm [34]. Com es pot veure en la Fig. 2.2 (a), la còrnia és una estructura amb una elevada transparència, degut a l'absència de vasos sanguinis, nervis sense mielina i una disposició ben ordenada de les seves cèl·lules i fibres. Com que és avascular, està nodrida anteriorment per la pel·lícula lacrimal, posteriorment per l'humor aquós i perifèricament pels vasos sanguinis del limbe esclerocorneal (zona de transició entre la còrnia i l'escleròtica) [28,33,34]. Histològicament, com es pot veure en la Fig. 2.2 (b), aquesta està formada per cinc capes cada una amb unes característiques tissulars diferents: epitel·li, capa de Bowman, estroma (capa més gruixuda), membrana de Descemet i endoteli [27,32,33].

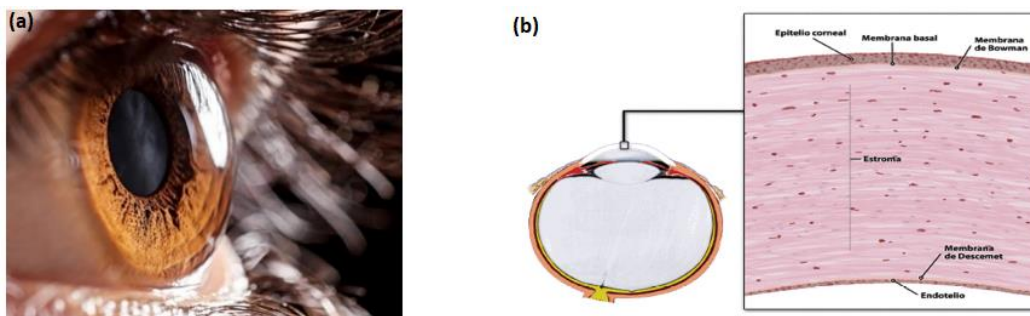


Fig. 2.2: (a) Imatge lateral de la còrnia obtinguda amb làmpada d'esclètxa amb il·luminació difusa [35]. (b) Histologia de la còrnia [36].

2.1.2 La cambra anterior

És la zona que comprèn des de la part posterior de la còrnia fins la cara anterior de l'iris. Aquesta està plena d'un líquid transparent anomenat humor aquós que es forma en els processos ciliars situats a la perifèria de la cara posterior del cristal·lí, i s'elimina per la xarxa trabecular situada en la zona de l'angle iridocorneal, per tant està contínuament renovant-se [23,25,26,27]. Com es veu en la Fig. 2.3 (a), aquest angle ha de tenir una apertura determinada perquè el líquid es pugui drenar [31]. La funció principal d'aquest humor aquós és la de transport de nutrients a la còrnia i el cristal·lí, a part d'emportar-se les substàncies de rebuig [27,28,31]. Unes altres funcions que té són la diòptrica [23,24,27] i una funció estructural per mantenir les estructures oculars en la seva posició correcta a l'exercir una pressió (intraocular) sobre elles, que sol tenir un valor normal de 11-21mmHg [28,37]. Per tant, hi ha d'haver un equilibri entre la formació i drenatge de l'humor aquós perquè aquesta es mantingui estable [31,37]. Normalment es poden produir alteracions en aquest equilibri al tenir un angle iridocorneal petit o tancat, provocant una reducció del drenatge i augmentant la pressió intraocular que pot provocar glaucoma [3,31].

El valor normal d'apertura de l'angle iridocorneal és de $30-35^{\circ} \pm 11$ [34,39]. Tot i que la mesura de l'apertura de l'angle iridocorneal és important, també ho és saber la profunditat de la cambra anterior, que és la distància que hi ha entre la cara posterior de la còrnia i la cara anterior del cristal·lí [13,38]. Aquesta profunditat té un valor de normalitat de 3,6mm, tot i aquest sol variar amb l'edat [23,31] a l'augmentar el gruix del cristal·lí, provocant una protrusió de l'iris amb la conseqüent reducció de l'angle iridocorneal [31]. Aquest angle es calcula com la recta tangent partint del canal de Schlemm (zona on està la xarxa trabecular), entre la part posterior de la còrnia i l'anterior de l'iris [13]. Tot i ser aquestes dues mesures les més importants a nivell de la cambra anterior, un cop es té localitzat el canal de Schlemm, també es pot mesurar l'amplitud de la cambra anterior (distància entre els dos angles iridocorneals oposats) [13]. Actualment estudis han demostrat que la millor manera d'obtenir les mesures d'angle, profunditat i amplitud de cambra anterior és a partir de l'espeló escleral [41,42,43] mostrat en la Fig. 2.3 (b). A través de les imatges amb OCT, moltes vegades no es pot veure correctament el canal que hi ha entre la còrnia i l'iris, sobretot el seu final, pel que la mesura de l'angle obtinguda pot ser imprecisa i, en canvi, l'espeló escleral és més senzill de localitzar per poder calcular-lo, tot i que a vegades pot ser difícil localitzar-lo [41,42,43]. Anatòmicament correspon a la zona d'unió entre la paret interna de la xarxa trabecular i l'escleròtica (que serà vista com una zona de transició entre blanc i negre formant una corba característica) [39,41]. D'aquesta manera, les mesures seran més fiables, repetitives i es podran veure més fàcilment possibles canvis en el temps de les característiques anatòmiques de la cambra anterior [41,42,43].

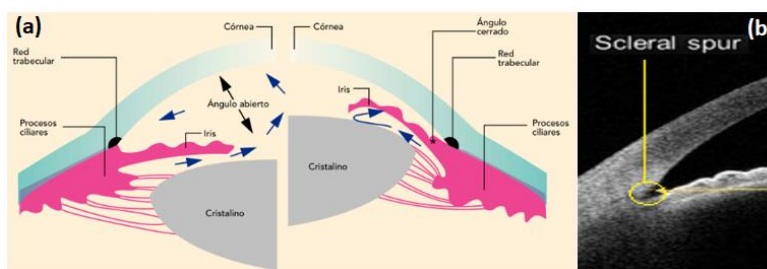


Fig. 2.3: (a) Formació i drenatge de l'humor aquós amb angle obert i tancat [40]. (b) Localització de l'espeló escleral (EE) en una imatge d'OCT anterior [44].

2.1.3 El cristal·lí

El cristal·lí és una lent intraocular transparent i biconvexa d'origen natural, que està situada en la cambra posterior del globus ocular dins del segment anterior de l'ull, entre la cara posterior de l'iris i l'humor vitri, subjecte a l'ull a través dels processos ciliaris de la zònula de Zinn [23,24]. Al ser una lent amb curvatura en les seves dues cares, aquesta normalment té una capacitat diòptrica mitja d'unes +18-20D en estat de relaxació [23,24,27,28]. En condicions normals, el cristal·lí està relaxat quan es mira a l'infinit, a una distància més elevada de sis metres [28]. La seva principal funció és la de l'acomodació en la que a través de la contracció del múscul ciliar, s'augmenta la seva curvatura gràcies a la seva elasticitat, augmentant la potència diòptrica del cristal·lí per poder enfocar imatges en la retina d'objectes provinents de distàncies properes [23,24,28,45].

Aquesta és una estructura totalment avascular i tampoc està innervada. La seva nutrició i eliminació de productes de desfeita es duu a través de l'humor aquós en la seva part anterior, i de l'humor vitri en la seva part posterior [27,28,45]. Anatòmicament aquesta lent està formada per varies parts [27]:

- Càpsula o cristal·loides: és la part més externa englobant tant l'epiteli com les fibres del cristal·lí. La part anterior correspon a la membrana basal de l'epiteli. És elàstica, transparent i acel·lular formada principalment per col·lagen tipus IV i glicosaminoglicans. Està connectada al múscul ciliar a través de les fibres de la zònula de Zinn [47,48].
- Epiteli subcapsular: és una monocapa de cèl·lules que està present solament en la part anterior, entre la càpsula i el còrtex. És l'única capa del cristal·lí que es pot regenerar. Té la funció de nodrir al cristal·lí a través dels aliments que agafa de l'humor aquós [47,48].
- Còrtex: format per fibres secundaries del cristal·lí en disposició radial que es van formant després de l'adolescència i que van perdent els seus orgànuls. La seva elasticitat influeix molt en l'acomodació, que es va reduint amb els anys. Limitat anteriorment per l'epiteli i posteriorment per la càpsula [48].
- Nucli: és la part més interna rodejada pel còrtex. Aquest està format milers de fibres transparents organitzades de manera molt regular unides pels seus extrems. Aquestes van formant capes durant tota la vida, sobreposant-se a les anteriors fent que les més internes estiguin més compactes i tinguin un menor contingut d'aigua. L'augment de gruix del cristal·lí amb els anys es deu a l'augment del nucli que va ocupant part del còrtex [48].

Histològicament està format majoritàriament per fibres (cèl·lules amb morfologia allargada), formades per proteïnes anomenades cristal·lines. Aquestes fibres són produïdes a partir de cèl·lules que es formen a l'epiteli [28,40]. Amb el temps les fibres més internes pateixen una involució o apoptosi on perden tots els orgànuls intracel·lulars i s'allarguen organitzant-se en feixos cel·lulars, unint-se a través d'unions GAP mitjançant la proteïna MIP26 [27,45,50]. Aquestes contínuament es van generant formant capes amb disposició regular que es van superposant a les més internes compactant-les [23,27,45], fent que la seva concentració sigui elevada i oferint transparència al cristal·lí al reduir la dispersió de llum [23,45,46,50]. L'anatomia del cristal·lí i la disposició de les fibres es poden veure en la Fig. 2.4 (a).

A nivell fisiològic, es caracteritza per una elevada presència de proteïnes fent que tingui un índex de refracció més elevat respecte les altres estructures oculars per on passa la llum, arribant a un valor de 1,406 en la seva part central [23,50]. Aquest està format per aigua (66%), electròlits (1%), i proteïnes hidrosolubles i no hidrosolubles (33%) [45,50]. Les no hidrosolubles estan localitzades en la part més externa i representarien el 20% de fibres del cristal·lí, encarregades de formar el citoesquelet i de mantenir la seva forma biconvexa. En canvi, les hidrosolubles estan localitzades sobretot en la part central, representant el 80%, anomenades proteïnes cristal·lines. Aquestes es poden dividir en proteïnes α i β - γ . [45,47] Les proteïnes α representen el 50% de les solubles i tenen la funció de fer que les proteïnes es pleguin correctament i no es desnaturalitzin [45,46]. Les proteïnes β són menys abundants que les α i són les que es formen durant el procés d'elongació i diferenciació de les fibres [45,46]. Finalment les proteïnes γ són les menys abundants i no s'associen entre elles ni amb altres proteïnes, localitzades principalment en el nucli [45,46]. Tant la funció de les β com les γ són de donar forma al cristal·lí [45,46]. Unes altres funcions que tenen aquestes proteïnes són: protecció del citoesquelet, resistència cel·lular i evitar l'apoptosi [45,47,51].

L'energia que el cristal·lí necessita per poder dur a terme aquest metabolisme prové principalment de la glucosa que transporta l'humor aquós [50]. Aquest està en un ambient ric d'espècies reactives a l'oxigen (ERO) on es produeixen gran quantitat de reaccions redox (reducció-oxidació), pel que és molt important l'estabilitat d'aquestes reaccions per mantenir la seva funció. Una reacció d'oxidació és aquella en que una molècula perd electrons [45,50]. Degut a la funció de les proteïnes del cristal·lí, és important la seva correcte funcionalitat i interacció,

ja que tenen una elevada influència en el manteniment del cicle cel·lular i la transparència a l'evitar la dispersió de llum [47,50]. Tot i que el cristal·lí té defenses fisiològiques per protegir-se [9], s'ha pogut demostrar com l'exposició crònica a la llum ultraviolada, provocarà una alteració del seu metabolisme, modificant els processos oxidatius de les proteïnes i la seva osmolaritat com es pot veure en la Fig. 2.4 (b), provocant la desnaturalització i agrupació de les proteïnes [46,47,50,52], una peroxidació lipídica i una fragmentació de l'ADN [50]. Aquestes alteracions fisiològiques, normalment associades a l'envelliment, provocaran una pèrdua de transparència amb l'aparició de cataractes [46,50].

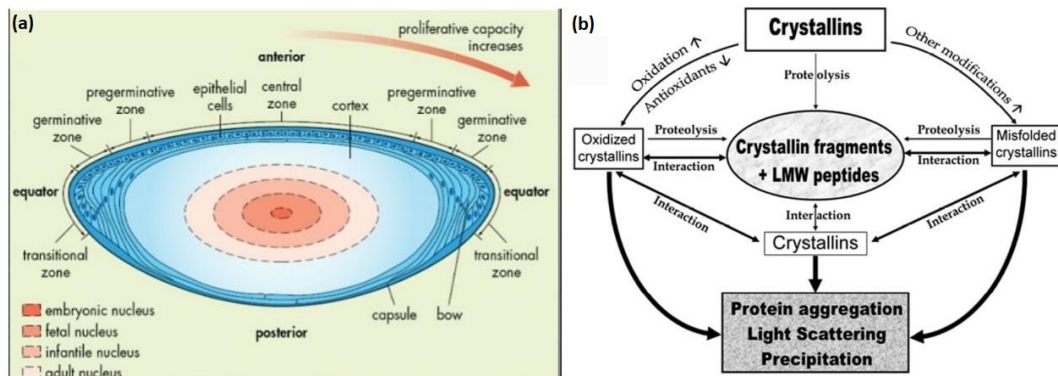


Fig. 2.4: (a) Histologia del cristal·lí i canvis anatòmics del seu nucli [49]. (b) Procés d'oxidació del cristal·lí que provoca la formació de cataractes [47].

2.2 Les cataractes

La cataracta és una patologia crònica, principal causa mundial de ceguera tractable en el món, deguda al envelliment natural del cristal·lí, que sol aparèixer a partir dels 50 anys [9,10]. Segons l'OMS (Organització Mundial de la Salut), s'estima que la cataracta representa el 48% de les deficiències visuals en el món i causa el 39% de cegueres reversibles [6,10]. Aquesta es caracteritza per l'aparició d'opacitats en el cristal·lí degudes a una alteració en el seu metabolisme i canvis oxidatius [9,10,48], podent estar localitzades en qualsevol capa que el forma: la càpsula, el còrtex i el nucli [45,48]. La formació d'aquesta cataracta sol ser progressiva, excepte en alguns casos concrets, pel que el pacient que la té no nota inicialment el seu desenvolupament fins que ha perdut cert grau de visió. A més, la seva aparició pot ser tant unilateral com bilateral [7], tot i que en aquest últim cas es sol iniciar primer en un dels ulls, amb el que el seu desenvolupament serà major en un ull que a l'altre.

2.2.1 Síntomes i signes

L'aparició i tipus de símptomes i signes que es presentin amb les cataractes, dependrà molt del grau d'opacitat que hi hagi, però sobretot del seu tipus, localització i extensió en el cristal·lí [45]. Com més avançada estigui, més símptomes hi hauran i més manifestacions visuals es podran percebre [53]. Aquestes, que es poden veure resumides en la Fig. 2.5 (a), són degudes a un augment de la dispersió de llum intraocular, una major absorció de llum que arriba de l'exterior (habitualment la blava), un augment del gruix del cristal·lí per superposició de capes i un augment de l'índex de refracció en les zones amb opacitats, provocant un canvi en la refracció de la llum [45,46]. Una representació d'una imatge vista per un pacient sa i un altre amb cataractes es pot veure en la Fig. 2.5 (b1 i b2).

Signes i símptomes de les cataractes
Reducció de l'agudesia visual
Reducció de la sensibilitat al contrast (SC)
Augment de l'enlluernament
Necessitat de tenir més llum
Diplopia monocular
Canvis refractius
Alteració de la visió del color

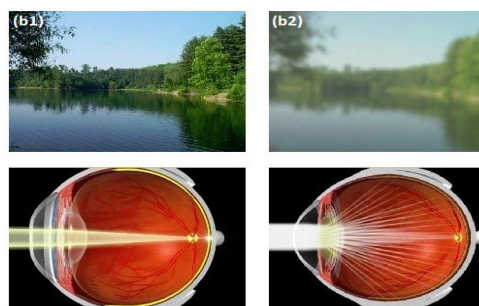


Fig. 2.5: (a): Signes i símptomes de les cataractes. (b) Focalització del cristal·lí. (b1) Imatge observada per un pacient sa. (b2) Imatge observada per un pacient amb cataractes [54].

2.2.2 Factors de risc

Tot i que la causa més habitual per l'aparició de les cataractes és l'envelliment natural del cristal·lí, hi ha altres factors de risc que hi poden contribuir [46], augmentant la seva progressió o que aquesta aparegui prematurament, independentment del seu envelliment, representants en la Taula 2.1 [9,10].

Factors de risc de les cataractes	
Envelliment	Edat
Patologies sistèmiques	Hipertensió arterial, diabetis...
Toxicitat	Efectes secundaris de fàrmacs com corticoides, alcohol, tabaquisme...
Nutricionals	Pobre alimentació, consum excessiu de greix, obesitat, deficiència d'antioxidants i proteïnes...
Genètics	
Antecedents oculars	Cirurgies, lesions o inflamacions oculars
Ambientals	Ambients calorosos, molt de sol, elevada exposició ultraviolada
Traumatisme	

Taula 2.1: Factors de risc de les cataractes.

Tots aquests factors, actuant sols o de manera conjunta, provocaran una alteració en la fisiologia normal del cristal·lí provocant l'aparició de cataractes [9,10].

2.2.3 Tipus de cataractes

A l'existir diferents tipus de cataractes formades per múltiples factors i amb etiologies diferents, és necessari realitzar un diagnòstic el més precís i correcte possible [8,10]. Actualment en els centres oftalmològics, aquest diagnòstic es duu a terme a través de la visualització del seu aspecte amb la làmpada d'esclètxa [8,10]. A vegades, quan la cataracta està molt avançada, es pot observar directament sense la necessitat de cap aparell o il·luminant amb una llanterna, en aquests casos s'observarà leucocoria o pupil·la blanca [55]. Un cop analitzada, existeixen diferents tipus de classificacions basades en diferents aspectes per poder classificar-les i poder fer un seguiment de la seva progressió [8]. En la pràctica clínica habitual, la classificació de les cataractes més utilitzada és la que es basa en la localització estructural dins el cristal·lí en el nucli, còrtex o càpsula [45], tot i que n'hi ha d'altres que es basen en altres criteris [56], com són l'etiologia que les classifica en metabòlica, traumàtica, tòxica, congènita i/o infantil, o segons el grau d'opacitat que les classifica en madura, hipermadura o morganiana. En aquest treball solament s'explicarà les basades en la seva localització estructural.

Cataracta nuclear

La cataracta nuclear és l'opacitat del nucli del cristal·lí, que sol començar a partir dels 40 anys on es comencen a produir canvis fisiològics del cristal·lí augmentant la dispersió de llum, tot i que aquesta edat no es sol detectar [45,57]. No és fins als 55 anys aproximadament on comença a haver-hi un canvi més important en la fisiologia del nucli, arribant a la seva màxima expressió d'opacitat cap als 70-75 anys, on hi haurà un canvi important de la coloració del nucli [56]. Aquest comença sent incolor (transparent) fins que a mesura que avança la cataracta va canviant de color groc, a marró i finalment a negre quan està molt avançada [45]. Aquesta esclerosi del cristal·lí està limitada en el nucli fetal on amb els anys hi va havent una acumulació de fibres, augmentant la seva mida [45]. La seva evolució sol ser bilateral i asimètrica [57]. Aquest tipus de cataracta està provocada per l'oxidació de proteïnes del nucli que provoca la seva desnaturalització i agrupació. A més del canvi de tonalitat, la compactació de les fibres farà augmentar la seva rigidesa i duresa [57]. Degut a que es produïda per un envelliment fisiològic, és la més habitual. La seva progressió és constant i es distribueix de manera uniforme per tot el nucli, fent que la tonalitat sigui homogènia [45]. A través de l'observació directe amb la làmpada d'esclatxa, com es pot veure en la Fig. 2.6 (a i b), es podrà veure la seva tonalitat [45]. Degut a que va associada amb un augment de la mida del cristal·lí, provocarà un augment de la miopia a mesura que avança [56,57]. El principal símptoma que produeix aquesta cataracta és la visió borrosa i en boira segons lo evolucionada que estigui, a més de produir una alteració de la visió del color [57].

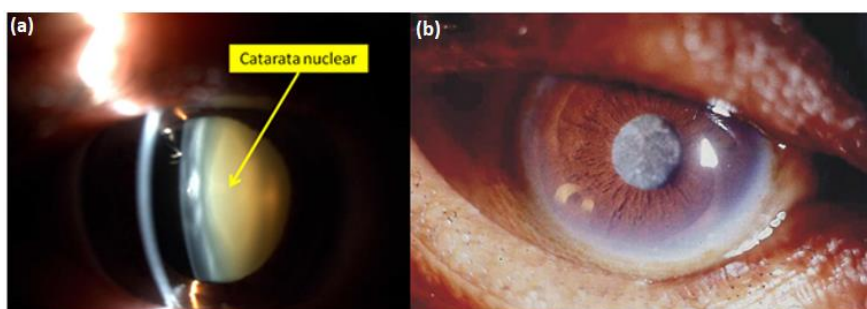


Fig. 2.6: Cataracta nuclear amb làmpada d'esclatxa. (a) Secció òptica. (b) Il·luminació difusa [58].

Cataracta cortical

A diferència de la cataracta nuclear, la cataracta cortical està provocada per una alteració local en l'estructura de les cèl·lules de les fibres madures [59], per tant no va tan associada a l'edat tot i que l'afavoreix. Aquesta també pot estar provocada per traumatismes i altres patologies [59]. Per tot això és la menys prevalent en la població respecte els demés tipus. Al produir-se una alteració en la membrana cel·lular, es produirà una sobrehidratació de la zona, pèrdua de proteïnes i variació dels nivells d'electròlits, variant la seva composició iònica i afavorint l'oxidació [45,59]. A l'igual que les nuclears, solen ser bilaterals i asimètriques [45]. Degut a que apareix en el còrtex del cristal·lí, l'afectació de la visió dependrà de si afecta a l'eix visual [59], ja que la seva progressió va de la perifèria del cristal·lí cap al centre, i de la part posterior a l'anterior seguint la disposició de les fibres [45]. En estats inicials es poden veure petites opacitats en el còrtex corresponents a la formació de vacuoles, feixos d'aigua i la formació de petites opacitats perifèriques de forma radial, al produir-se una desnaturalització i coagulació de proteïnes [56,59]. En estats més avançats augmenten les opacitats en disposició radial tant en volum com en densitat, en una direcció de la perifèria cap al centre tenint una forma punxeguda amb la perifèria més gruixuda i el centre més prim anomenades en raig, cuneïformes

o de cunya [59]. És habitual també que en estats més avançats es pugui veure el trencament de les fibres deguda a la tensió que es produeix per un augment del gruix [45,59]. La seva progressió i extensió dependrà de varis factors ja que poden avançar ràpidament o no variar durant anys, fins i tot quan són molt perifèriques requereixen de dilatació pupil·lar per poder veure-les [59]. En aquest cas s'observaran com unes opacitats negres amb retroil·luminació (Fig. 2.7 (a)) o blanques si s'avaluen amb il·luminació directe (Fig. 2.7 (b)). Pel que fa als canvis refractius que experimenta el pacient, aquesta cataracta sol provocar un augment de la hipermetropia. A més, els principals símptomes que provoquen són l'enlluernament i la diplopia monocular [59].

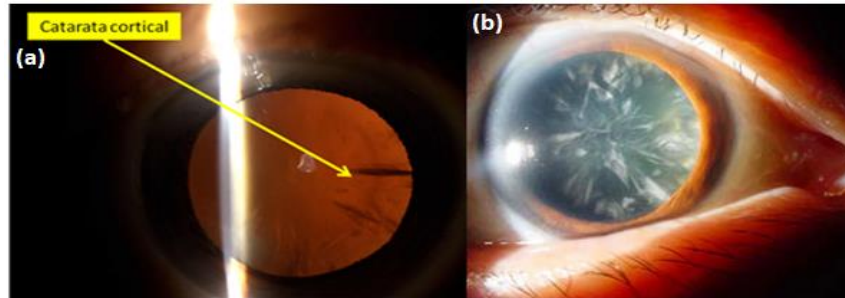


Fig. 2.7: Cataracta cortical amb làmpada d'esclatxa. (a) Retroil·luminació. (b) Il·luminació difusa [58].

Cataracta subcapsular posterior

És la cataracta més prevalent després de la nuclear. És tracta d'una opacitat que comença en una petita àrea en la càpsula posterior de cristal·lí i es va estenent per tota la càpsula. La seva evolució és més ràpida que la nuclear i la cortical, pel que l'afectació en la visió serà més visible en poc temps ja que afecta a la zona de l'eix visual provocant una elevada simptomatologia, inclús amb una petita cataracta degut a la seva localització [45]. Normalment aquest tipus es produeix pels efectes secundaris que poden produir certes medicacions per patologies sistèmiques, com la presa de corticosteroides o medicació per la diabetis, tot i això en menor grau també va associada a l'edat [45,60]. La seva formació és deguda a la migració de cèl·lules metaplàstiques des de l'equador al pol posterior de la lent, a més de per l'afectació de fibres posteriors del cristal·lí per un defecte en la seva producció, on s'altera l'epiteli de les fibres i el seu gruix es redueix afectant al creixement del cristal·lí [56,45,60]. A diferència de les altres, quan està produïda per medicació, si s'elimina la causa es pot donar el cas de que la cataracta es reverteixi amb la formació de noves fibres sanes. A través de l'observació directe amb làmpada d'esclatxa, es podrà veure una opacitat rodona i negra a través de retroil·luminació (Fig. 2.8 (a)) i amb il·luminació difusa com una opacitat circular i blanca (Fig. 2.8 (b)). Aquestes no solen produir canvis refractius però els pacients poden tenir els següents símptomes: halos, dificultat en la lectura i sensibilitat a la llum en condicions d'elevada il·luminació [56,60].

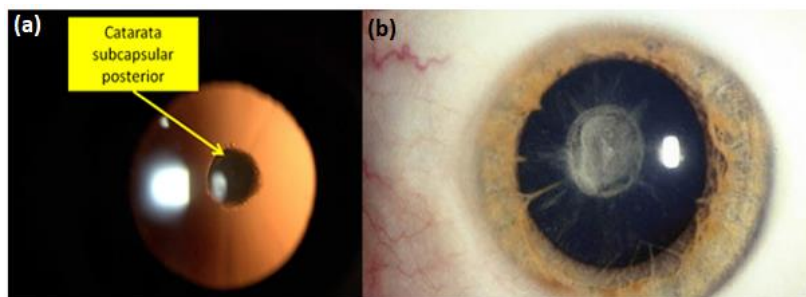


Fig. 2.8: Cataracta subcapsular posterior amb làmpada d'esclatxa. (a) Retroil·luminació. (b) Il·luminació difusa [58].

Aquest tipus de cataractes no sempre apareixen individualment, ja que es pot donar el cas que apareguin diferents tipus a la vegada. És habitual que en edats avançades aparegui una combinació de cataracta nuclear i cortical.

2.2.4 Diagnòstic i gradació

Existeixen varis sistemes per poder detectar i classificar correctament una cataracta [6]. Aquests sistemes es classifiquen en dos grups: els sistemes que es basen en l'obtenció d'imatges del cristal·lí i els que valoren el grau de dispersió de llum intraocular [18]. En el primer grup, s'utilitzen imatges obtingudes del cristal·lí amb diferents instruments. Dins d'aquest grup, es pot valorar i classificar la cataracta mitjançant una exploració subjectiva del cristal·lí a través de la làmpada d'esclatxa, anomenat sistema d'opacitat de la lent (LOCS III) [6,18]. Un altre sistema dins d'aquest grup és l'exploració quantitativa a través de l'obtenció d'imatges mitjançant imatges Scheimpflug, amb la posterior valoració de la densitometria del cristal·lí [18]. Uns altres sistemes són els que inclouen imatges del cristal·lí a través de raigs X, ressonància magnètica o ultrasons en mode B [18]. En el segon grup, s'utilitzen instruments que valoren l'augment de dispersió de llum intraocular, a través de la degradació de la imatge que es produeix en la retina quan aquesta travessa tots els medis oculars, obtenint la detecció de manera objectiva mitjançant un índex de dispersió. Hi ha sistemes com el C-Quant (Oculus) o l'HD Analyzer (Visiomètrics) que avaluen aquesta dispersió [18]. L'anàlisi de les imatges de Purkinje que es produeix en el sistema de doble pas, poden determinar la contribució corneal i lenticular a la dispersió de llum sense que influeixi la retina [18]. En la pràctica clínica habitual, el sistema més utilitzat per classificar les cataractes és l'anomenat Lens Opacities Classification System (LOCS III) [8,18].

El LOCS III és un sistema clínic de classificació i graduació de les cataractes internacionalitzat, que va ser publicat l'any 1993 per poder classificar-les segons el seu aspecte (morfologia, color i localització) a través de seva visualització amb la làmpada d'esclatxa, i la comparació amb varies imatges de referència amb diferents tipus i graus de cataractes, perquè els professionals les diagnostiquin de manera similar [8,61]. Aquest sistema permet fer una valoració semiquantitativa al poder graduar les cataractes en una escala decimal bastant-se en 4 característiques: opacitat nuclear, brunescència, opacitat cortical i opacitat subcapsular posterior [8,61]. L'opacitat nuclear i la brunescència es classifiquen amb la comparació de 6 imatges d'il·luminació directe del cristal·lí on hi hauran dues característiques: la brillantor de l'opacitat del nucli anomenada opalescència nuclear (NO) i el grau d'intensitat de brunescència, anomenada color del nucli (NC), en una escala decimal de 0,1 a 6,9. Les cataractes corticals (C) i subcapsulars posteriors (P) es comparen solament amb 5 imatges amb retroil·luminació del cristal·lí, on es compararà l'aspecte de la cataracta i l'acumulació d'opacitats en una escala decimal de 0,1 a 5,9 [6,61]. Per tant, cada característica de les nombrades tindrà un valor numèric associat [8], com es pot veure en la Fig. 2.9 (a). Tot i que és un sistema subjectiu, és bastant precís a l'hora de classificar les cataractes valorant l'opacitat i permetent veure la seva progressió en el temps de manera fiable. A més, degut a la seva fiabilitat aquest sistema és utilitzat en l'àmbit de la investigació clínica. Uns exemples de diagnòstic de cataractes amb aquest sistema es poden veure en la Fig. 2.9 (b1, b2 i b3).

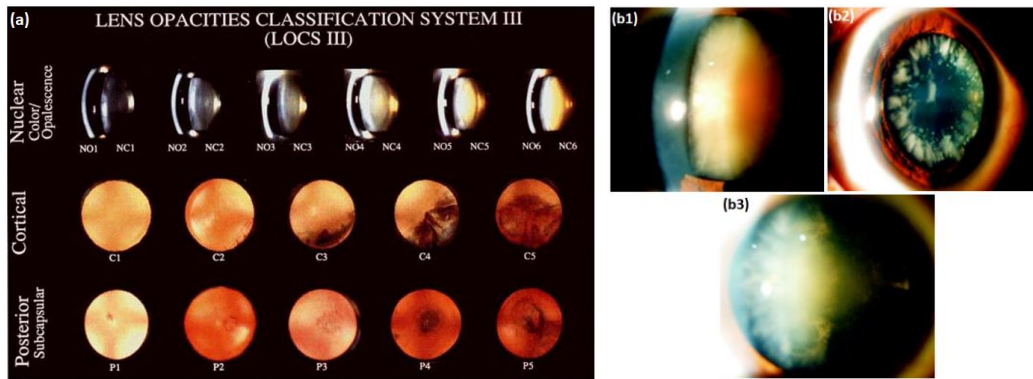


Fig. 2.9: (a) Sistema LOCS III [8]. (b1) C. Nuclear NC-6 NO-6. (b2) C. Cortical C-1. (b3) C. Subcapsular posterior SP-5 [62].

2.3 OCT de segment anterior (Tomografia de Coherència Òptica)

Aquesta secció està dedicada a la tècnica d'OCT que és en la que es basa el prototip estudiat en aquest treball. En una primera secció es fa una introducció a la tècnica d'OCT i la seva aplicació al segment anterior. En una segona es descriuen els diferents instruments utilitzats durant l'estudi, més detalladament el prototip utilitzat en aquesta investigació.

2.3.1 Introducció a la tècnica de Tomografia de Coherència Òptica

L'OCT és una tècnica no invasiva que s'utilitza en la pràctica clínica per fer una exploració transversal dels teixits oculars amb una elevada resolució [11,15,17]. Inicialment va ser presentada l'any 1991 per Huang et al. com un instrument pel diagnòstic específic de patologies del segment posterior del globus ocular [63]. Tot i utilitzar-se aquesta tècnica en varies especialitats mèdiques, en l'àmbit de l'oftalmologia principalment és utilitzada per fer un anàlisi de l'estat dels teixits oculars, principalment la retina [11,14,15]. Tot i això, amb el desenvolupament de la tecnologia, l'augment de cirurgies del segment anterior i la importància d'exploració de certes patologies, ha augmentat la necessitat d'estudiar noves tècniques destinades a fer una exploració més detallada d'aquesta zona, i és per això que va aparèixer l'OCT anterior [11,14,15,17]. No va ser fins l'any 1994 quan es va descriure la primera imatge d'OCT anterior per Izatt et al. [17,63]. Actualment, aquestes imatges permeten obtenir informació precisa del segment anterior i la presència de patologies, a més d'obtenir diferents paràmetres biomètrics d'estructures [11,14,17].

Aquest és un sistema de diagnòstic basat en la interferometria de baixa coherència òptica [63,64,65] que parteix de la tècnica d'interferometria òptica de Michelson, en la que s'obtenen els resultats a través de la comparació del retard que es produeix en la reflexió dels rajos de llum [11,12,63,65]. Per avaluar aquest retard, quan un feix monocromàtic és enviat a l'ull, un divisor format per un mirall semitransparent el separa en dos, fent que un vagi cap a la superfície de referència i l'altre cap al sistema a avaluar, on la reflexió de llum estarà modulada per cada A-Scan (escàner de la profunditat) [12,17,65]. En cada una de les superfícies la llum serà reflectida i enviada cap a un interferòmetre, on s'analitzarà el retard de la reflexió entre les llums provinents de les dues superfícies, a través de les interferències que es produeix al superposar-les, produint interferències constructives i destructives [12,63,64,65]. A l'hora de fer l'anàlisi de la superfície a avaluar, l'OCT basada en aquest interferòmetre, donarà com a resultat un anàlisi de tots els punts de cada A-Scan avaluat corresponent a una imatge axial (en profunditat) dels

teixits [12,65,65]. La fusió de tots els A-Scan donarà com a resultat una secció transversal de la superfície avaluada (B-Scan), com es pot veure en la Fig. 2.10 (a i b) [12,64,65].

Seguint aquesta tècnica es podran obtenir imatges d'estructures oculars. Degut a que la llum utilitzada interacciona amb diversos teixits amb diferents característiques, la llum tindrà un comportament diferent (la reflexió i transmissió variarà) fent que es puguin representar diferents estructures i calcular paràmetres oculars [11,12,63,64]. L'OCT permet obtenir imatges en 2D de la representació del segment anterior en una escala de grisos o colors, com es pot veure en la Fig. 2.10 (c i d), on els blancs o colors càlids indiquen una elevada reflectivitat i els negres o colors fosc una baixa reflectivitat [12].

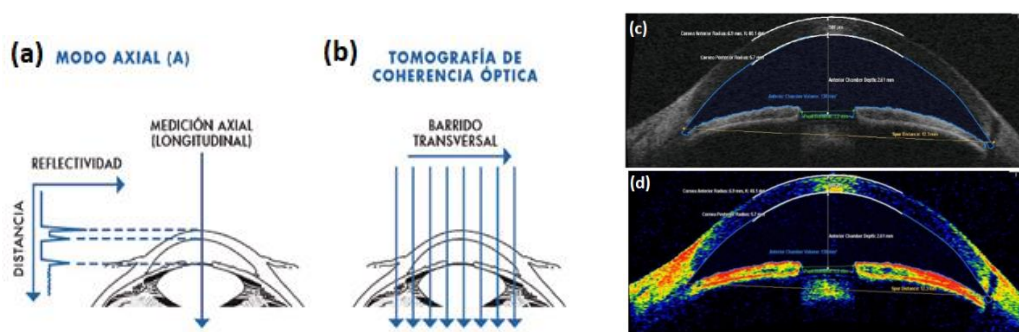


Fig. 2.10: Representació de l'escaneig de l'OCT. (a) Secció axial A-Scan. (b) Secció transversal B-Scan [12]. (c) Imatge d'OCT de segment anterior en escala de grisos. (d) Imatge d'OCT de segment anterior en escala de colors [14].

Les principals limitacions que presenta l'OCT anterior són: la baixa capacitat de profunditat i resolució d'obtenció de les imatges, el baix camp de visió, l'exploració solament d'un sol tall lineal no fent una avaluació completa, i una pobre penetració en els teixits pigmentats [11,13,16,63,65]. A l'utilitzar llum infraroja, aquesta serà absorbida per opacitats i estructures pigmentades, dificultant la visualització de zones d'interès clínic com la cara posterior de l'iris. En canvi, tindrà una elevada transmissió en estructures transparents com la còrnia i el cristal·lí [13,16,64]. Tot i això, les noves investigacions estan intentant superar aquestes barreres i que l'OCT anterior pugui fer una exploració més detallada i completa [64], millorant els seus sistemes i així augmentar la resolució de les imatges per fer una exploració més detallada i precisa [16,17]. Els sistemes que formen aquestes OCT en poden classificar en tres grups:

- **Time-Domain TD-OCT (domini temporal):** primer sistema utilitzat en les OCT l'any 1994 i actualment en desús que utilitza la diferència de retard de temps entre els feixos de llum. L'interferòmetre té en el braç de referència un mirall mòbil, on per cada punt de la mostra, escanejarà en la direcció axial o en profunditat (A-Scan), generant un perfil de profunditat basat en la reflexió de llum. Per poder fer una secció transversal (B-Scan) el feix escaneja lateralment a través de la mostra. Degut a que es pot conèixer la distància a la que es troba el mirall de referència, es poden localitzar les distàncies a les que es troben les estructures oculars al coincidir el feix de llum monocromàtic reflectit en les estructures, i el provinent del mirall de referència. Aquestes franges d'interferències que es produeixen en la llum al superposar-se, s'analitzaran en un sensor fotodíode (detector de punts). La seva representació es pot veure en la Fig. 2.11 (a) [12,15,64,66].

- Spectral-Domain SD-OCT (domini espectral):** és la segona generació tecnològica de sistemes OCT l'any 1995 millorant el Time-Domain. El sistema SD utilitza la diferència espectral d'interferència que es produeix en la llum, generant escanejos A-Scan sense la necessitat de fer un escaneig mecànic en la longitud de camí òptic, i utilitzant una font de llum de banda ampla i elevada potència formada per un díode superluminiscent infraroig. A diferència del sistema TD, la longitud del braç de referència sempre és fixa. En aquest cas les interferències es produeixen per les diferències de reflexió que es produeixen en els teixits per a cada λ envia simultàniament, i que és analitzada per un espectròmetre que substitueix el sensor fotodíode. Aquest espectròmetre utilitza un element difractiu per separar les diferents longituds d'ona que són focalitzades en un detector i gravades per una càmera d'exploració d'alta velocitat. Cada lectura de la càmera genera un interferograma espectral amb una superposició de patrons de franges. Aquest és capaç de resoldre les interferències per cada λ utilitzant la transformada de Fourier, podent calcular immediatament la profunditat d'exploració (A-Scan) sense necessitat de moure el braç de referència, millorant la velocitat d'obtenció de les imatges i la seva resolució. La seva representació es pot veure en la Fig. 2.11 (b) [12,15,64,66].
- Swept-Source SS-OCT:** és el sistema més actual (any 1997) que parteix d'una variació del SD-OCT, substituint la font de llum utilitzada per una formada per un làser de rastreig que es pot sincronitzar, aconseguint un escaneig més ràpid d'una amplada de línia estreta i utilitzant un ampli rang de longituds d'ona. En aquest cas s'elimina l'espectròmetre per analitzar la llum (que limita la resolució) i es substitueix per un detector de fotodiodes. Durant l'escaneig, cada component de la longitud d'ona de la senyal interferomètrica es detecta seqüencialment pel fotodetector, formant un interferograma espectral amb patrons de franges al igual que amb el SD, obtenint informació de tots els A-Scan de la mostra simultàniament i utilitzant la transformada de Fourier per resoldre les interferències. Això permet augmentar encara més la velocitat d'obtenció de les imatges, escanejar àrees més grans, una major penetració de la llum en els teixits, una major resolució de les imatges obtingudes i més eliminació de la senyal-soroll de les imatges. La seva representació es pot veure en la Fig. 2.11 (c) [12,15,64,66].

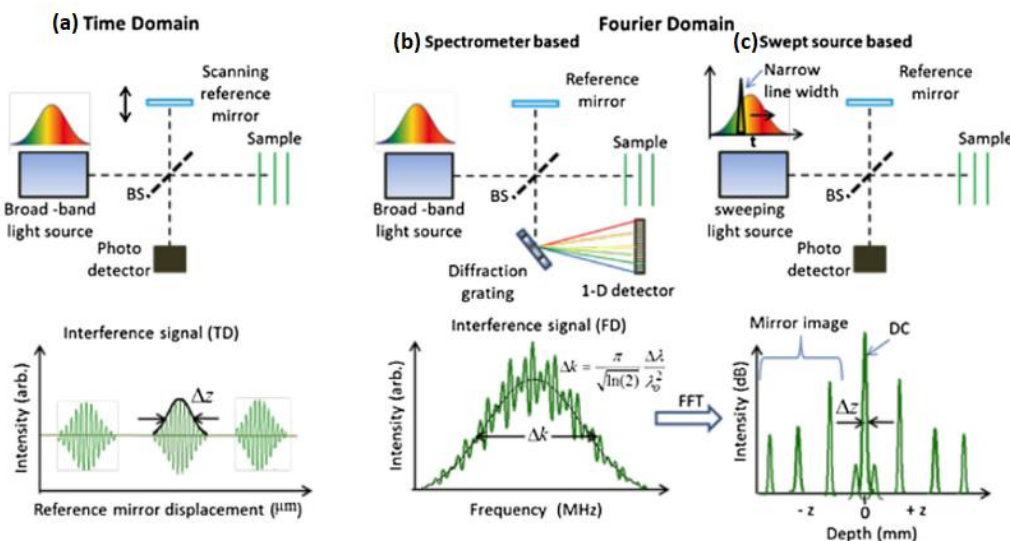


Fig. 2.11: Representació simple dels diferents sistemes d'OCT. (a) Time-Domain. (b) Spectral-Domain. (c) Swept-Source [64].

Una tècnica alternativa a l'OCT per poder fer una exploració del segment anterior és la biomicroscòpia ultrasònica que obté imatges completes del segment anterior, i a l'utilitzar ultrasons, no presenta les limitacions d'absorbància de llum en algunes estructures, pel que sí es podran observar zones posteriors a l'iris. Aquesta, a més, presenta una major profunditat d'imatge [1,11,13]. Les principals limitacions que presenta aquesta tècnica i que no té l'OCT és que és una tècnica invasiva i molesta pel pacient, a més de presentar una baixa resolució en les imatges obtingudes [1,13].

2.3.2 OCT's de segment anterior i biometria basada en OCT

A nivell d'instrumentació, es poden trobar diferents aparells que analitzen exclusivament el segment anterior o posterior, o aquells que tenen la funció principal d'analitzar el segment posterior, però a través de la incorporació d'una òptica permeten obtenir imatges també del segment anterior [16,52]. La limitació que tenen aquests aparells és que no poden obtenir imatges completes del segment anterior. En aquest treball solament es desenvoluparà la informació dels aparells utilitzats per dur a terme l'estudi, més detalladament el prototip d'OCT.

OCT Visante (Zeiss)

L'OCT Visante, representat en la Fig. 2.12 (a), és l'aparell de referència especialitzat solament en el segment anterior que es basa en el sistema TD per l'obtenció d'imatges i extracció de diferents paràmetres oculars [14]. Aquest utilitza com a font de llum un díode superluminescent amb una longitud d'ona de 1310 μm [73], amb una resolució òptica axial de 18 μm i transversal de 50 μm , utilitzant una velocitat d'escaneig de 2000 A-Scans per segon [13,16,63]. Com es pot veure en la Fig. 2.12 (b), amb aquesta OCT es pot fer una exploració del segment anterior des de la còrnia fins la part més anterior del cristal·lí.

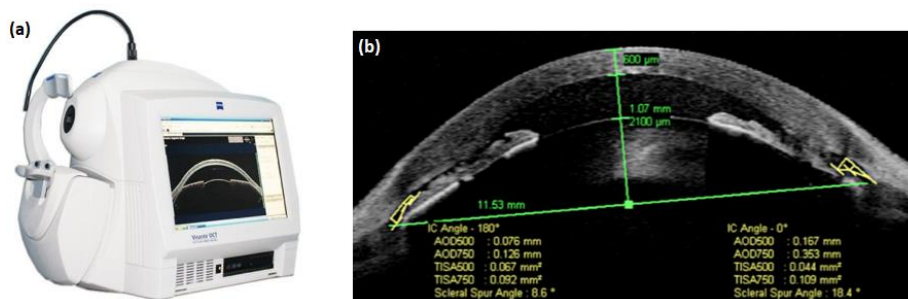


Fig. 2.12: OCT Visante. (a) Aparell comercialitzat [75]. (b) Imatge del segment anterior i paràmetres oculars obtinguts [13].

Biometria òptica (IOL Master 700 de Zeiss)

La biometria és una tècnica que s'utilitza habitualment en els preoperatoris de cataractes per calcular la potència de lents intraoculars [21,76,77] i valorar l'augment de la mida dels ulls en pacients miops [20]. Aquest és un sistema no invasiu basat en la tècnica d'interferometria de coherència parcial ja explicada en l'apartat 2.3.1. Per poder obtenir les mesures utilitza una font de llum de làser infraroig amb una longitud d'ona de 780nm [78], i un detector que analitzarà el patró d'interferència generat [63]. El nou IOL Master 700, representat en la Fig. 2.13 (a), incorpora un biòmetre làser amb tecnologia de rastreig (Swept-Source) que ofereix imatges d'OCT en directe a una velocitat de 2000 A-Scan/s de les diferents estructures oculars [21,76,78], permetent obtenir mesures amb elevada fiabilitat a l'explorar en viu possibles patologies o una mala fixació del pacient que puguin afectar als resultats [21,76]. Aquest instrument solament valora els 3-4mm oculars centrals [20,21,22], obtenint varies mesures de les quals les més

importants són: AL (longitud axial), Q (queratometria), ACD (profunditat de la cambra anterior), LT (gruix del cristal·lí) i CCT (gruix corneal) [18,19,20], representades en la Fig. 2.13 (b).

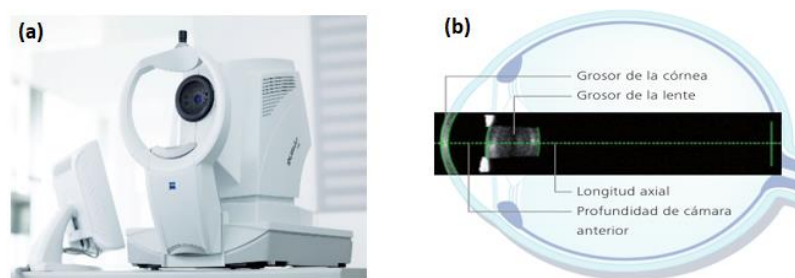


Fig. 2.13: (a) Aparall IOL Master 700 [78]. (b) Mesures que es poden extreure amb l'IOL Master 700; AL (mm), ACD (mm), LT (mm) i CCT (μm) [79].

OCT en desenvolupament (Prototip)

És una OCT anterior que s'està desenvolupant i que s'ha utilitzat en aquesta investigació. Aquesta aparell s'ha desenvolupat en el CD6 de la Universitat Politècnica de Catalunya, que és un centre d'innovació tecnològica que treballa en el camp de l'enginyeria òptica. Aquest està basat en el sistema SS descrit anteriorment, que permet obtenir imatges d'elevada resolució del tot el segment anterior del globus ocular i a major profunditat fins la cara posterior del cristal·lí. Inicialment estava dissenyat per poder obtenir imatges del segment anterior complet i de la retina, però en l'actual estudi solament s'ha fet servir la part anterior [69].

Per aconseguir això el mètode interferomètric d'aquesta OCT està format per una sola font de llum i un sol canal de detecció. Aquesta disposa d'una font de llum de rastreig amb una longitud d'ona infraroja de 1050nm i una velocitat de rastreig de 50 KHz (permet obtenir una amplada de banda de 110nm i una longitud de coherència de 16mm), un digitalitzador d'alta velocitat de 12 bits i un detector amb una amplada de banda de 1 GHz, obtenint imatges completes del segment anterior amb una resolució axial de 10 μm i una velocitat d'obtenció de les imatges acceptable. A més, l'interferòmetre disposa d'acobladors de fibra òptica amb dos entrades i dos sortides, amb una longitud d'ona de tall de 920nm a 1060nm, un diàmetre de camp de 6,2 μm i una apertura numèrica de 0.14. També es van utilitzar polaritzadors de fibra personalitzats (PC1 i PC2) per optimitzar la senyal de l'OCT. El braç de referència del sistema presenta una configuració de pas única formada per dos col·limadors (C2) d'entrada i sortida i un mirall de retroreflexió (RRM). S'utilitza també un diafragma d'iris (D) per controlar la potència de la llum del mateix braç de referència. A part, també disposa d'un grup de miralls (M4, M5, M6, M7) que permeten canviar la seva longitud entre varies modalitats de la imatge. Una segona part és el braç de mostra que està format per tres canals separats espectralment. Els canals utilitzen una longitud d'ona central de 1050nm (ruta de colors) i el monitor emet llum en un rang visible (ruta verda). Un anell de quatre LED's (amb una emissió central de 850nm) està situat al voltant de la lent de l'objectiu (OC), format per un sistema d'imatge de pupil·la de camp ampli que utilitza una càmera amb sensibilitat a la llum infraroja. Els tres canals es combinen a través de dos miralls dicroics (DM1 i DM2). La part del segment anterior consisteix en un col·limador de fibra (C1), un conjunt de miralls galvanomètrics (M1, M2 i M3) i tres grups de lents (L1, L2 i la lent de l'objectiu OC). La seva representació interna amb el traç dels rajos es pot observar en la Fig. 2.14 (a) i l'externa en la Fig. 2.14 (b) [69].

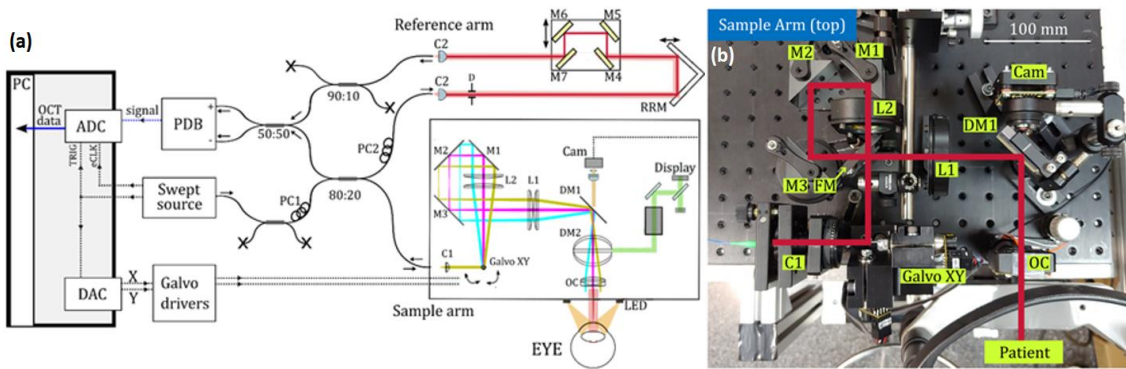


Fig. 2.14: (a) Esquema del sistema i traç dels rajos. (b) Imatge del braç de mostra [69].

A part de la gran millora de resolució i profunditat de les imatges respecte l'OCT Visante, el disseny de l'OCT permet realitzar una avaluació i obtenir registres de les estructures oculars així com fer una representació en 3D del segment anterior. Per això disposa de 2 mòduls d'obtenció d'imatges: l'HD que realitza 100 talls horitzontals (2000 A-Scan per 100 B-Scan) i el 3D, on s'aconsegueixen fins a 500 talls horitzontals (500 A-Scan per 500 B-Scan). Tots els talls es realitzen a diferents altures obtenint imatges d'elevada resolució. Amb la incorporació d'aquests 2 mòduls es pot fer una exploració completa a la vegada de tot el segment anterior sense haver de localitzar zones concretes. En la Fig. 2.15 (a) es pot veure el prototip d'OCT amb les imatges que es poden obtenir amb el mòdul HD en la Fig. 2.15 (b) (imatge transversal), i 3D en la Fig. 2.15 (c) (imatge tridimensional) [69].

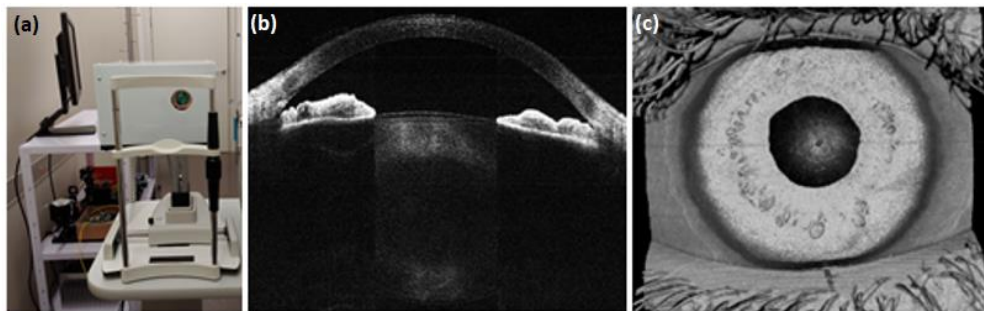


Fig. 2.15: (a) Aparell extern del prototip d'OCT [69]. (b) Tall transversal. (c) Imatge en 3D.

Amb totes les OCT esmentades, es poden obtenir imatges d'estructures del segment anterior i a la vegada, poder extreure quantitativament la mesura de diferents paràmetres oculars [12,68]. Les mesures més importants que es poden extreure són: CCT, ACD, ACW (amplitud de la cambra anterior), LV (lens vault), AOD500/700 (distància d'apertura angular), TISA500/750 (àrea de l'espai trabecular de l'iris), SSP (angle de l'espóli escleral) i LT (gruix del cristal·lí només amb el prototip d'OCT). Aquests es poden veure representats en la Fig. 2.16.

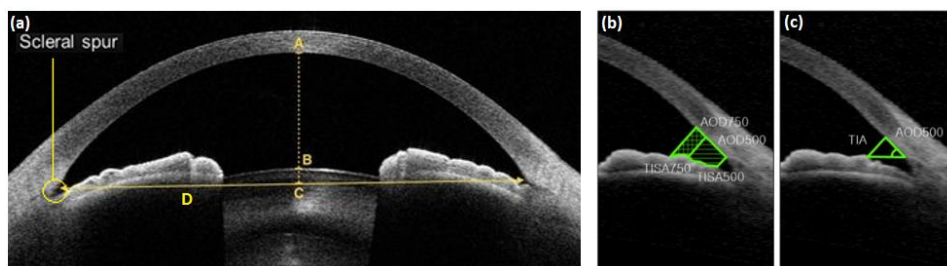


Fig. 2.16: Paràmetres que es poden extreure amb l'OCT anterior. (a) A: CCT (μm), B: ACD (mm), C: LV (mm), D: ACW (mm). (b) AOD500/750 (mm), TISA500/750 (mm^2). (c) SSP ($^\circ$) [13].

3. Objectius

En aquest apartat s'exposaran els objectius marcats en el projecte inicial per poder dur a terme la investigació amb el desenvolupament del prototip d'una nova OCT anterior basada en el sistema Swept-Source.

Objectiu genèric de l'estudi

L'objectiu principal de la investigació és l'avaluació i obtenció d'imatges completes del segment anterior ocular a través d'un nou sistema d'OCT Swept-Source en desenvolupament, que obté captures de la cara anterior de la còrnia fins la cara posterior del cristal·lí i d'angle a angle, per estudiar les seves possibles aplicacions clíniques.

Objectius específics de l'estudi

- Estudiar les aplicacions clíniques que podria tenir en la pràctica clínica la nova OCT, al fer una exploració completa de tot el segment anterior en el diagnòstic de patologies oculars que ocupen aquest segment o depenen de les seves característiques anatòmiques, centrant-nos principalment en pacients diagnosticats de cataractes.
- Estudi en profunditat del cristal·lí: valorar l'efectivitat i la utilitat del diagnòstic a través d'imatges amb OCT, ja sigui en cataractes molt inicials on hi han petites opacitats que no es poden veure a través de la làmpada d'escletxa i, per tant, poder diagnosticar inicis de formació de cataractes, com avaluar la localització estructural i extensió de les cataractes ja formades que ajudi a fer un diagnòstic més precís, i valorar la possibilitat d'utilitzar l'OCT com a eina per fer un seguiment de la progressió de les opacitats del cristal·lí.
- Obtenció de diferents paràmetres d'estructures oculars de rellevància clínica en l'estudi de diferents casos clínics, per ser analitzats i comparats amb els mateixos paràmetres obtinguts amb l'OCT Visante i la biometria òptica IOL Master 700, ja que es basen en el mateix principi de funcionalitat.

Objectiu personal

- Aprofundir en el coneixement de l'anàlisi de les diferents estructures que formen el segment anterior, per interpretar les imatges obtingues i per poder detectar patologies i/o anomalies, poder-ho aplicar en la pràctica clínica diària, i conèixer els nous avenços tecnològics en sistemes OCT.

4. Metodologia

En aquest apartat es descriurà tot el material que s'ha utilitzat per poder dur a terme la investigació, així com la població estudiada per poder obtenir les imatges del segment anterior a través de l'OCT i així, poder obtenir els resultats. A més, es descriuran en detall les característiques de presa de mesures del prototip de l'OCT anterior, així com el protocol que es va establir per poder agafar les mesures dels subjectes amb els diferents aparells de mesura. Tant els pacients com els instruments utilitzats, excepte l'OCT en desenvolupament, s'han agafat del centre oftalmològic Institut de Microcirurgia Ocular (IMO) de Barcelona. L'OCT en desenvolupament va ser traslladada a les mateixes instal·lacions. Aquest treball forma part d'un estudi clínic que ha sigut aprovat pel comitè ètic de l'IMO.

Aquest es tracta d'un estudi transversal on s'agafen unes captures en un moment determinat i la posterior extracció d'imatges i mesures, per valorar les possibles aplicacions clíniques d'un instrument d'OCT en desenvolupament, i poder fer una comparació de diferents mesures d'estructures oculars mitjançant diferents instruments.

4.1 Material

Per poder agafar les imatges del segment anterior i dels diferents paràmetres d'estructures oculars, s'ha utilitzat la instrumentació disponible a l'IMO. A banda dels instruments utilitzats, també ha sigut necessari utilitzar uns programes informàtics per poder obtenir les imatges d'OCT en desenvolupament, així com poder realitzar una representació en 3D de les mateixes, i també poder extreure els paràmetres de diferents estructures oculars.

4.1.1 Instrumentació

Els instruments utilitzats durant la investigació ja s'han descrit extensament en la secció 2.3 del marc teòric per tant, en aquest apartat solament es nombraran. Els aparells utilitzats són:

- Biòmetre Òptic (IOL Màster 700)
- OCT Anterior (Visante)
- OCT Anterior en desenvolupament (Prototip)

Un resum de les característiques de l'OCT Visante i l'OCT en desenvolupament es mostren en la Taula 4.1:

Característiques tècniques d'OCT	OCT Visante	Prototip d'OCT
Velocitat A-Scan	2.000 A-Scan/s	50.000 A-Scan/s
Resolució axial	18 µm	8 µm
Resolució lateral	50 µm	41 µm
Longitud d'ona	1310 nm	1050 nm
Mida de la imatge (profunditat per amplada)	6x13 mm	14x14 mm
Profunditat d'imatge	6 mm	14 mm

Taula 4.1: Característiques tècniques de l'OCT Visante i el prototip d'OCT.

4.1.2 Programes informàtics

- **LabView (National Instruments):** és un programa d'enginyeria per al desenvolupament de sistemes que utilitza un llenguatge de programació visual gràfic, pensat per sistemes hardware i software en desenvolupament per fer proves, controls i dissenys. Aquest permet

la fàcil integració amb sistemes hardware, desenvolupar algoritmes en l'anàlisi de dades i dissenyar interfases personalitzades [80]. El software s'ha utilitzat per fer el programa d'administració, gestió, control i presa de mesures de l'OCT en desenvolupament anomenat AS_OCT_IMO. Aquest ha permès la sincronització de l'escaneig amb l'adquisició del digitalitzador i el moviment de l'escàner per poder fer les mesures. A banda, també ha sigut utilitzat per poder descomprimir els arxius de les imatges obtingudes en cada avaluació del pacient, ja que en cada captura solament es generava un únic arxiu, i així poder disposar de totes les imatges realitzades, anomenat POSTPROCESSING_AS.

- **ImageJ (National Institute of Health):** és un software que permet el processament d'imatges digitals amb gran quantitat de plugins per oferir-hi múltiples funcionalitats, que permet analitzar, processar i editar imatges [81]. A l'agafar moltes imatges amb l'OCT en desenvolupament d'un mateix ull, és a dir que no solament s'agafava un sol tall d'una secció sinó que se n'agafaven de moltes, aquest programa era utilitzat per agrupar totes aquestes imatges en una sola única, i poder fer una representació en 3D del segment anterior.
- **Matlab (Mathworks):** és un programa matemàtic utilitzat per enginyers i científics que consisteix en un sistema de còmput numèric, que ofereix un entorn de desenvolupament integrat amb llenguatge de programació propi [82]. Les funcions principals d'aquest sistema són: manipulació de matrius, representació de dades i funcions, implementació d'algoritmes, creació d'interfases d'usuari i comunicació amb altres programes amb diferents llenguatges i hardware. És un programa molt utilitzat en universitats, centres d'investigació i desenvolupament [82]. Aquest ha estat utilitzat per analitzar les imatges obtingues amb l'OCT en desenvolupament i extreure els valors dels paràmetres oculars.

4.2 Criteris d'inclusió/exclusió

Per poder fer una selecció dels pacients es van establir uns criteris d'inclusió/exclusió a partir del protocol de l'estudi clínic oficial. Els criteris són:

Criteris d'inclusió:

- Pacients diagnosticats prèviament de cataracta (nuclear, cortical, subcapsular posterior o mixta) per un oftalmòleg i posterior intervenció de cirurgia d'extracció del cristal·lí per implantar una lent intraocular (LIO). Això és degut a que la nova OCT en desenvolupament permetia una observació completa del cristal·lí.

Criteris d'exclusió:

- Ulls que presentaven alguna patologia ocular que impedia l'obtenció dels paràmetres oculars buscats.
- Ulls operats prèviament amb un implant de lent fàquica degut a que al no conèixer l'índex de refracció de la lent, podria alterar les mesures obtingudes del cristal·lí.
- Ulls operats prèviament amb un implant de lent pseudofàquica, degut a que en el treball es busca poder obtenir el valor del gruix del cristal·lí i fer una descripció de les cataractes a través de les imatges obtingudes, ja que la nova OCT en desenvolupament permet veure tota la seva extensió.

4.3 Mètode d'experimentació

En aquest últim apartat s'explicarà el protocol que es va seguir per poder seleccionar als pacients per poder fer la investigació, així com el procediment a seguir per poder capturar les imatges amb els diferents instruments, per al seu posterior anàlisi i extracció de dades de paràmetres oculars. Tant les captures de les imatges com l'extracció de mesures van ser obtingudes per dos observadors, tot i que sempre s'intentava que fos el mateix en obtenir-les seguint el protocol que es va establir inicialment. Tot i això, la realització de proves estava molt protocol·litzada, pel que sempre es duïen a terme sota les mateixes condicions. El protocol que es va seguir es descriu en els següents apartats.

4.3.1 Selecció i reclutament dels pacients en l'estudi

Com s'ha dit anteriorment aquest estudi s'ha dut a terme en les instal·lacions de l'IMO de Barcelona amb pacients habituals del centre o primeres visites. Inicialment el pacient havia de passar visita amb el metge per realitzar l'exploració oftalmològica. Era el metge el que a través de l'exploració del cristal·lí sota condicions de dilatació pupil·lar i utilitzant una làmpada d'esclatxa, diagnosticava les cataractes seguint el sistema LOCS III (ja descrit en l'apartat 2.2.4 del marc teòric). Per tant, totes les proves realitzades van ser sota midriasi. Un cop diagnosticat, s'informava al pacient de la possibilitat de participació voluntària en l'estudi. Per això tots els pacients se'ls hi oferien la lectura prèvia d'un consentiment informat (Annex I), on s'explicava l'objectiu de l'experimentació i la posterior signatura i data del dia conforme estava d'acord en participar. D'aquesta manera es va obtenir una mostra final aleatòria, tot i que específica, de pacients diagnosticats de cataractes, en funció del voluntariat de participació dels subjectes.

4.3.2 Obtenció de les mesures amb sistemes comercials

Com s'ha indicat, els pacients es mesuraven amb el biòmetre comercial IOL Master 700 i amb una OCT de segment anterior, l'OCT Visante.

La biometria òptica entra dins del protocol per realitzar el preoperatori de cataractes i poder calcular la potència de la lent intraocular per la cirurgia. Per aquest fet, eren el personal de la clínica el que realitzava la prova seguint les mateixes característiques i amb unes condicions d'il·luminació baixes. Inicialment s'introduïen les dades del pacient, ja que aquesta prova formava part de l'estudi, però també de la pràctica clínica del centre. Per començar es col·locava al pacient amb el cap ben recolzat a la mentonera, se'l feia mirar a un estímul de fixació que ja incorporava l'instrument, i havia d'aguantar un moment sense parpellejar al fer les mesures. Per part de l'observador, aquest havia de prendre les mesures de manera fiable, per això el mateix instrument ja va indicant en cada moment a través d'unes senyals i instruccions, els passos a seguir per fer-ho de manera correcta. Al final de la prova, apareixen uns índex de fiabilitat per a cada mesura agafada i tots han de ser correctes. Si hi havia algun alterat, aquest estaria expressat amb una ! o una X i per tant s'havia de repetir.

La forma d'obtenció de les mesures amb l'OCT era similar a la del biòmetre òptic i amb una il·luminació també baixa. El pacient havia de recolzar correctament el cap a la mentonera, observar un estímul de fixació que incorporava l'instrument (estrella verda amb un punt central en l'OCT Visante i un punt vermell per l'OCT en desenvolupament), i aguantar sense parpellejar mentre durés la mesura. En el cas de que el pacient no fixés correctament, cosa que l'observador veuria a través de la imatge en directe de la càmera de l'OCT, on es pot veure la situació de l'ull, així com la imatge del teixit explorat, se li demanava que canviés la zona fixada per alinear al màxim les imatges. Prèviament abans de capturar-les, s'observava que la qualitat de les imatges

fos la millor i el centratge fos el correcte, amb l'aparell centrat en el centre de la pupila per poder fer els talls horitzontals. De tots els mòduls dels que disposa l'OCT Visante per obtenir les imatges, solament es va utilitzar l'Enhanced Anterior Segment. Si la imatge obtinguda no era correcte o no estava centrada, es descartava i s'havia de fer de nou al moment.

4.4 Obtenció de les mesures amb el prototip d'OCT

Al ser una OCT en desenvolupament, el sistema d'administració de pacients i obtenció de les mesures s'havia de realitzar a través del programa LabView representat en la Fig. 4.1. Normalment, al ser un prototip, abans de fer les mesures s'avaluava la intensitat de la senyal per obtenir les imatges i es calibrava si era necessari. Un cop feta la comprovació, es mirava que el pacient estigués correctament situat a la mentonera i la imatge centrada. Abans de fer la mesura, s'havia de seleccionar l'ull a avaluar i el mòdul d'obtenció de les mesures. Un cop fet això, per a cada ull es feia una mesura amb cada mòdul, observant que la intensitat de la senyal d'obtenció de les imatges fos la màxima. A través de la càmera s'observava si el pacient movia els ulls o parpellejava. En aquests casos, s'havien de repetir les captures. Aquesta OCT té dos mòduls d'obtenció d'imatges:

- HD: obtenint 100 imatges de talls transversals horitzontals a diferents altures (2000x100).
- 3D: obtenint 500 imatges de talls transversals horitzontals a diferents altures (500x500).

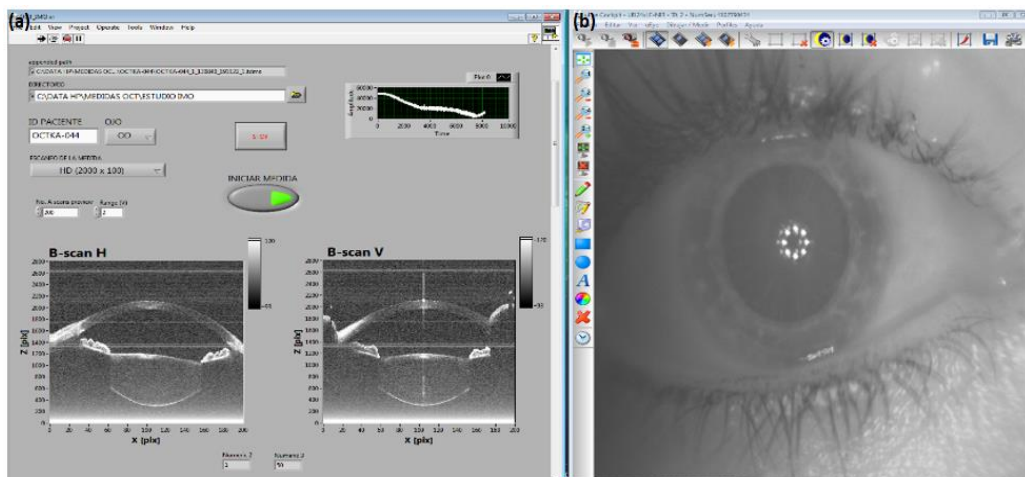


Fig. 4.1: Programa LabView. (a) Programa de gestió de pacients i obtenció de les imatges de l'OCT en desenvolupament. (b) Programa de càmera en viu per centrar les captures.

Al realitzar les imatges, directament es formava una carpeta amb el nom clau del pacient, i dins d'aquestes unes subcarpetes amb l'especificació de d'ull avaluat (OD-1 / OS-0), el mòdul utilitzat (3D-0 / HD-1), l'hora i el dia. Dins d'ells es formava un arxiu únic amb totes les imatges que després havia de ser processat per poder tenir i veure-les totes. Un exemple seria: OCTKA-XXX_0_133158_190925_1, per indicar el codi del pacient OCTKA_XXX, el primer número solitari indica l'ull (que seria l'OS), després ve l'hora (hora, minuts i segons) realitzant l'examen a les 13:31:58h, a continuació la data (però en format anglès) fet el dia 25/09/19, i finalment el segon número indica el mòdul utilitzat (que seria l'HD).

4.5 Extracció de dades dels pacients

Per poder dur a terme l'investigació, ha sigut necessari extreure algunes dades rellevants dels pacients. Algunes d'aquestes s'obtenien directament de l'història clínica del pacient de l'IMO o dels diferents instruments. Seguint la llei de protecció de dades personals, s'han agafat estrictament les dades necessàries per poder fer l'estudi i que totes aquestes estiguessin relacionades amb un codi i, per tant no poder relacionar les dades extretes directament dels participants en l'estudi amb les seves dades personals. Totes les dades eren anonimatitzades i solament eren relacionades amb aquest codi, que permetia poder localitzar als pacients en qualsevol moment sense que hi hagués confusió entre ells. Les dades extretes es resumeixen en la Taula 4.2.

Mesures rellevants extretes dels pacients	
Codi del pacient de l'estudi	OCTKA-XXX
Any de naixement	19XX
Dades rellevants de l'història clínica	Antecedents clínics, cirurgies previes...
Diagnòstic de cataractes segons el LOCS III	CX / NX /SPX
Mesures del biòmetre IOL Master 700	Paràmetres oculars: CCT, ACD, LT
Mesures de l'OCT Visante	1. Imatges 2. Paràmetres oculars: CCT, ACD, ACW, AO500/750, TISA500/750, SSP
Mesures del prototip d'OCT	1. Imatges 2. Paràmetres oculars: CCT, ACD, ACW, LT AO500/750, TISA500/750, SSP

Taula 4.2: Dades extretes de cada pacient estudiat.

Totes les dades extretes dels pacients tant de l'història clínica com dels instruments utilitzats es recullen en una taula-resum que es mostra en l'Annex II.

4.6 Processament, anàlisi i muntatge de les imatges obtingudes amb el prototip d'OCT

Un cop realitzada la mesura a través del prototip d'OCT, com s'ha descrit en l'apartat 4.4 d'aquesta mateixa secció, s'obtenia un arxiu amb les imatges sense processar, corresponent a cada mòdul utilitzat amb l'OCT (HD i 3D) i a cada ull, que és el que ens emportàvem de la mesura realitzada amb aquesta OCT. D'aquesta manera les imatges no es podien veure directament, i s'havia de fer un treball intens de processament d'aquests arxius utilitzant el software LabView, per poder obtenir les imatges de cada mòdul; 100 amb el mòdul HD utilitzades pel diagnòstic de les patologies a través de l'exploració del segment anterior, i 500 amb el mòdul 3D per poder fer la seva representació completa en 3D. Aquest programa, el que fa és agafar les imatges crues que s'han agafat directament amb l'OCT i processa cada A-Scan obtingut, que es combinen per formar el B-Scan, aconseguint les imatges que nosaltres podem veure. Aquest és un procediment que a nivell intern té varis passos, que inclouen el calibratge dels A-Scan, la substracció del soroll (Fig. 4.2 (a)), la millora del contrast de les imatges (Fig. 4.2 (b)), l'eliminació d'artefactes en les imatges (Fig. 4.3 (a)) i la correcció dels delay entre els B-Scan (Fig. 4.3 (b)).

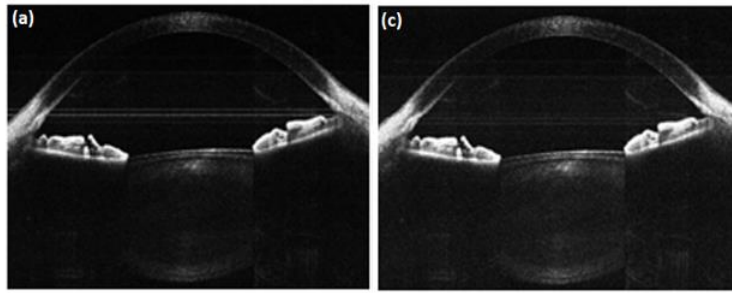


Fig. 4.2: Imatges HD obtingudes amb el prototip d'OCT. (a) Imatge inicial amb calibratge dels A-Scan i substracció dels soroll. (b) Imatge final amb millora del contrast i eliminació d'artefactes.

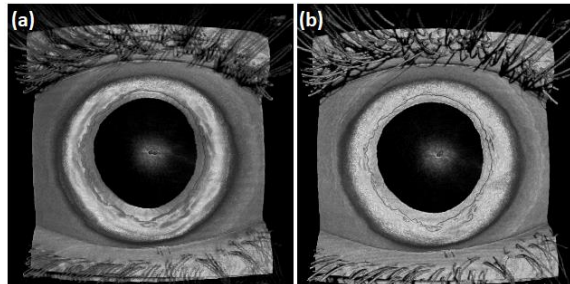


Fig. 4.3: Imatges 3D obtingudes amb el prototip d'OCT. (a) Imatge inicial sense correcció dels delay. (d) Imatge final amb correcció del delay.

Un cop fet els processos, totes les imatges obtingudes amb el mòdul HD es podien visualitzar directament per explorar el segment anterior. En canvi, per poder generar les imatges tridimensionals a partir de les obtingudes amb el mòdul 3D, s'havia d'utilitzar el programa ImageJ. Per poder obtenir-les, primer s'havien de carregar amb aquest programa les 500 imatges corresponents a la captura amb el mòdul 3D. Un cop obtingudes, aquestes havien de ser unides en una sola imatge utilitzant la funció Image -> Stacks -> Image to Stacks, per poder obtenir una sola representació com es pot veure en la Fig. 4.4 (a). Degut a que les imatges en 3D tenen tres eixos X,Y i Z, el següent pas que s'havia de fer era configurar l'escala de les Y, degut a que si no la representació obtinguda en 3D tenia una forma incorrecta en aquest eix, ja que la forma de la imatge en aquest estava molt allargada, pel que es va haver de modificar. Per fer això es va utilitzar la funció Scale i canviar el valor de l'eix de les Y de 1 a 0.2 per obtenir una imatge correcte. Un cop fet això i degut al "soroll" de la imatge, per obtenir una imatge clara i sense artefactes, s'havia de reduir el contrast per eliminar aquest "soroll" utilitzant la funció Image -> Adjust -> Brightness/Contrast. El resultat de la funció Scale i Contrast es pot veure en la Fig. 4.4 (b). Finalment per obtenir la imatge en 3D es va fer servir la funció Plugins -> 3D Viewer obtenint així la representació tridimensional del segment anterior representada en la Fig. 4.4 (c).

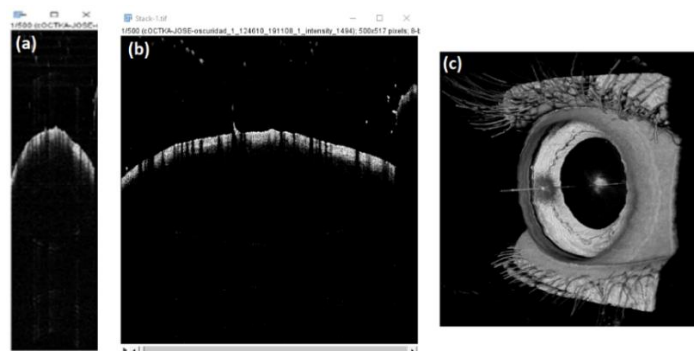


Fig. 4.4: Passos a seguir amb el programa ImageJ. (a) Funció Image to Stacks. (b) Funció Scale i Contrast. (c) Funció 3D Viewer.

5. Resultats

En aquest apartat es farà una valoració dels resultats obtinguts a través de l'experimentació i l'anàlisi de les imatges obtingudes amb l'OCT anterior en desenvolupament de diferents patologies, centrant-nos en la seva aplicació en pacients diagnosticats amb cataractes.

Per començar es parlarà sobre la mostra analitzada i la quantitat de diferents casos clínics/patològics explorats i posteriorment es mostraran els resultats obtinguts. L'objectiu principal d'aquest treball era poder valorar les aplicacions clíniques que pot tenir aquesta nova OCT, centrant-nos en pacients amb cataractes i l'exploració del cristal·lí.

5.1 Descripció de la mostra

Per poder obtenir els resultats, s'han obtingut mesures amb els instruments esmentats en la secció 4.4.1 de la metodologia d'un total de 90 pacients (180 ulls), corresponents a 51 dones (56,67%) i 39 homes (43,33%), compresos en una edat entre 32 i 90 anys, amb una mitja d'edat de $62,82 \pm 12,28$ els quals estaven diagnosticats de cataractes de diferents tipus i graus. D'aquests ulls diagnosticats de cataractes en un total de 10 s'havia observat principalment cataracta nuclear (N), uns 33 de cortical (C), 7 de subcapsular posterior (SP) i finalment 108 de mixta a través del sistema LOCS III. D'aquests pacients un total de 7 solament estaven diagnosticats de cataracta en un sol ull. Del total de la mostra, 10 ulls ja estaven operats prèviament de cataractes en un dels dos ulls, amb un total de 9 amb la LIO neta i 1 amb opacitat capsular. Finalment del total de la mostra, un total de 64 pacients presentaven alguna altre alteració del segment anterior o es podien observar intervencions quirúrgiques anteriors, com transplantament de còrnia, opacitats corneals, iridectomies, alteracions en el propi cristal·lí alienes a les cataractes, etc.

5.2 Resultats obtinguts amb el prototip d'OCT

En aquesta secció s'exposaran els resultats obtinguts a través de les imatges realitzades amb l'OCT en desenvolupament i la descripció d'alteracions en el segment anterior. En primera subsecció s'exposaran les imatges obtingudes en pacients amb diferents tipus i graus de cataractes que constitueixen la mostra principal de l'estudi. En les següents subseccions es mostraran les imatges recollides durant l'estudi que s'han considerat de rellevància clínica mostrant altres patologies, incloent el glaucoma, alteracions corneals i pupil·lars, intervencions quirúrgiques del segment anterior, etc.

Les imatges (B-Scan) mostrades en aquest apartat de les diferents patologies han sigut obtingudes amb la modalitat d'imatge HD del prototip, mentre que les reproduccions tridimensionals s'han obtingut amb la modalitat d'imatge 3D, seguint el procediment descrit en la metodologia.

La descripció de les imatges es farà a través de la visualització d'alteracions en la morfologia d'estructures, l'aparició d'artefactes hiperreflectius, i els canvis d'intensitat de senyal en forma d'augment (hiperreflexió) o reducció i/o nul·lilitat (hiporreflexió) de la senyal respecte un pacient sa [19,83]. Les estructures opaques tindran una elevada intensitat de senyal, les totalment transparents o zones on no arriba la llum tindran una senyal nul·la i les semitransparents tindran una baixa intensitat de senyal [83]. Tot i que la distribució d'aquesta intensitat és homogènia en totes les estructures semitransparents, en el cristal·lí es poden diferenciar les seves parts presentant diferents graus d'intensitat en la mateixa estructura [19,83]. Això es pot observar en

la Fig. 5.1 d'un subjecte de 28 anys sense patologies en el segment anterior, que servirà per poder fer una comparativa més exhaustiva entre un ull sa i un altre patològic.

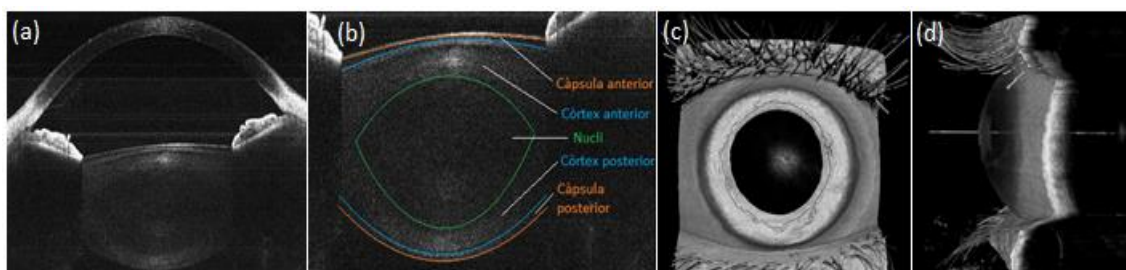


Fig. 5.1: Imatges d'OCT en desenvolupament d'un pacient sa. (a) Tall transversal. (b) Segmentació del cristal·lí. (c) 3D frontal. (d) 3D lateral.

5.2.1 Cataractes

No hi ha molta informació al respecte a com s'han de veure les cataractes amb imatges d'OCT, però fent una recerca bibliogràfica, la comparativa de les imatges obtingudes respecte un pacient sa, i el seu diagnòstic fet per un oftalmòleg seguint el sistema LOCS III, s'ha pogut veure que es produeixen canvis en les característiques de reflexió fisiològica del cristal·lí i d'aquesta manera, s'ha pogut valorar la seva localització, morfologia i extensió [18,19,83]. S'ha pogut determinar que poden aparèixer zones amb un increment de la intensitat de senyal extenses, corresponents a opacitats que poden tenir distribució homogènia en casos que hi hagi una disposició regular de les fibres o heterogènies en cas contrari [18,19,83]. Aquestes zones també poden aparèixer més localitzades corresponents a canvis microestructurals o petites opacitats localitzades [18]. També poden aparèixer zones amb una baixa o nul·la intensitat de senyal localitzades en punts concrets i d'una extensió no gaire elevada degudes a la presència de bombolles, vacuoles, esclatxes d'aigua extracel·lular o defectes en el teixit del cristal·lí (alteració de les fibres) [18,19,83], rodejades de zones més hiperreflectives [83].

De tots els pacients de la mostra, un total de 10 estaven diagnosticats de cataracta nuclear, on s'ha pogut observar un increment de la intensitat de la senyal extensa i homogènia per tota la zona del nucli com es pot veure en la Fig. 5.2, d'un subjecte de 62 anys diagnosticat de cataracta N2. També es pot veure en la representació en 3D lateral aquesta opacitat nuclear. Aproximadament en tots els pacients amb aquest tipus de cataractes s'ha pogut observar el mateix patró, tot i que en diferent grau d'intensitat [18].

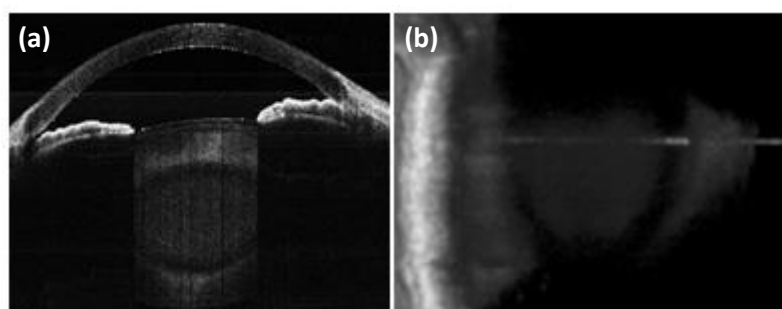


Fig. 5.2: Imatges d'OCT en desenvolupament d'alteracions en el nucli, cataracta N2. (a) Tall transversal. (b) 3D lateral.

Igual que les nuclears, en el total de 33 casos diagnosticats de cataracta cortical també s'ha pogut observar com hi ha hagut un augment de la intensitat de la senyal homogènia en la zona del còrtex, tot i això la seva distribució i intensitat de senyal pot ser diferent en funció de la seva localització en el còrtex anterior i/o posterior [19]. A diferència de les nuclears, és habitual que

aquestes presentin una distribució més heterogènia amb la localització de zones localitzades hiporreflectives amb una baixa intensitat de senyal, rodejades per zones més hiperreflectives [83]. Això es pot veure en la Fig. 5.3 (a) d'un subjecte de 53 anys diagnosticat de cataracta C2 on es pot observar el patró esmentat, a més d'un increment de la senyal diferent en les dues cares del còrtex. En aquest cas també es pot observar una dèbil intensitat de senyal en el nucli. Una altre característica d'aquestes cataractes és que en funció del grau d'opacitat, la seva localització i distribució en el cristal·lí, aquestes poden presentar diferents morfologies. Aquest fet es pot veure representat en la Fig. 5.3 (b) d'un subjecte de 70 anys diagnosticat de cataracta mixta C2N2, que presenta la mateixa distribució heterogènia esmentada anteriorment en les dues cares del còrtex, però presentant una morfologia més característica amb unes zones hiperreflectives més delimitades i intenses que el cas anterior. A més, també es pot observar un increment homogeni de la intensitat de la senyal en la zona nuclear. Inclús es pot donar el cas com es veu en la Fig. 5.3 (c) d'un subjecte de 54 anys diagnosticat de cataracta SP2, amb la cataracta solament formada en el còrtex posterior amb el mateix patró heterogeni. En aquest cas, a diferència del diagnòstic, es pot observar que hi ha una alteració en el còrtex posterior no diagnosticada. Un últim cas de diferent morfologia és el mostrat en la Fig. 5.3 (d) d'un subjecte de 74 anys diagnosticat de cataracta cortical C2NO3 i SP1, que presenta un augment homogeni de la intensitat de la senyal, però amb la presència de zones amb una intensitat de la senyal nul·la amb una forma determinada coincidint amb l'eix visual. En aquest cas també hi ha un augment de la intensitat de la senyal homogeni en la zona nuclear i capsular posterior.

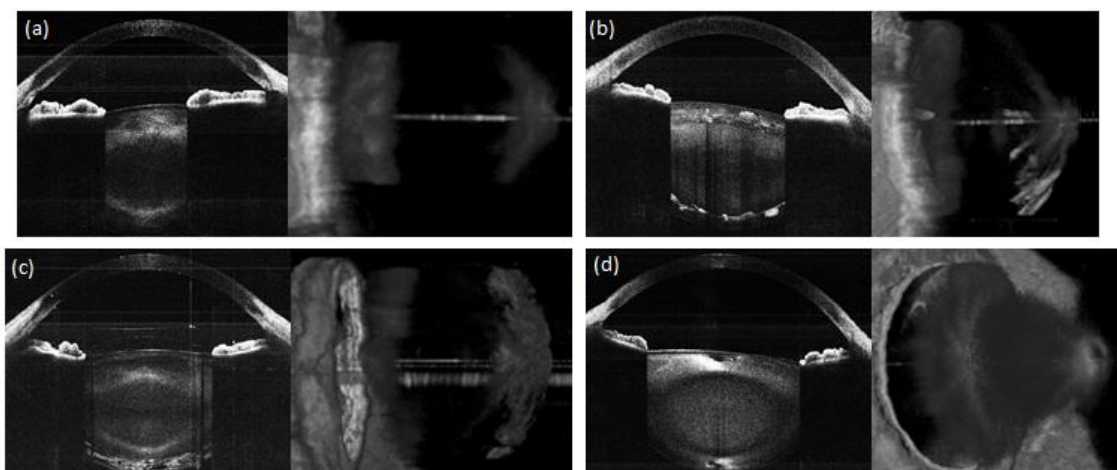


Fig. 5.3 Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'alteracions en el còrtex. (a) Cataracta cortical C2. (b) Cataracta corticonuclear C2N2. (c) Cataracta subcapsular posterior SP2. (d) Cataracta mixta C2NO3 i SP1.

Com es pot veure en la Fig. 5.4, en aquests casos en la representació en 3D frontal es pot veure en la zona pupil·lar el típic patró de les cataractes corticals en forma d'estrella per la presència d'aquest patró heterogeni, al igual que també es pot observar en les imatges laterals aquesta heterogeneïtat.

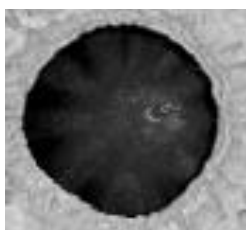


Fig. 5.4: Representació en 3D frontal d'una cataracta C2.

Una última zona on també es poden formar les cataractes és en la càpsula posterior. De tots els pacients estudiats un total de 7 estaven diagnosticats de cataracta subcapsular posterior. Aquestes segueixen un patró constant igual que les cataractes nuclears, on hi haurà un augment homogeni de la intensitat de la senyal seguint la forma de la càpsula posterior [18]. Un cas es mostra en la Fig. 5.5 (a) d'un subjecte de 38 anys diagnosticat de cataracta SP3 on es pot veure aquest patró. A més, presenta una dèbil intensitat de senyal en la zona nuclear. Un fet que caracteritza aquest tipus d'opacitats, és que mostren un patró estriat característic en la imatge en 3D. Un segon cas és el que es mostra en la Fig. 5.5 (b) d'un subjecte de 46 anys diagnosticat de cataracta SP2, on es pot observar un lleu augment homogeni de la senyal en la zona capsular posterior corresponent al diagnòstic. Tot i això, també es pot veure com hi ha un increment de la senyal en la zona del còrtex anterior i posterior amb zones hiporreflectives en el còrtex anterior, en canvi en la part posterior es pot veure un increment important de la senyal amb una distribució lineal que destaca de la resta, demostrant que hi ha una alteració elevada en la zona del còrtex posterior no diagnosticada seguint el sistema LOCS III. En aquest cas el nucli té una intensitat de senyal molt baixa. Aquest cas és curiós degut a que el diagnòstic principal estava en la càpsula posterior quan en les imatges d'OCT la senyal més elevada s'observa en el còrtex posterior. En les imatges en 3D laterals es poden veure molt bé aquestes alteracions, a més de la diferència entre l'alteració del còrtex i la càpsula posterior, on hi ha una senyal més elevada en el còrtex posterior.

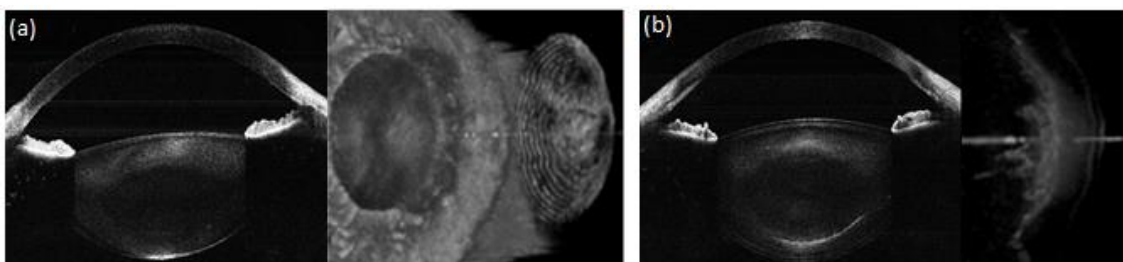


Fig. 5.5: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'alteracions de la càpsula posterior.
 (a) Cataracta subcapsular posterior SP3. (b) Cataracta subcapsular posterior SP2.

Normalment es poden diferenciar les cataractes subcapsulars posteriors de les corticals posteriors degut a la seva morfologia. Les primeres tenen una distribució lineal amb una extensió limitada seguint la forma de la càpsula, en canvi en la representació en 3D tenen un patró estriat en forma d'ones. En canvi les corticals solen tenir un patró heterogeni amb una distribució més extensa, i en la representació en 3D es sol veure aquest mateix patró, a més de tenir una extensió i gruix més elevat.

Les cataractes no solament apareixen de manera individual, sinó que normalment apareixen juntament amb opacitats en altres parts del cristal·lí, anomenades cataractes mixtes. De tots els pacients estudiats un total de 108 estaven diagnosticats de cataracta mixta. Es presentaran solament alguns casos que s'han vist més interessants. La Fig. 5.6 (a) mostra les imatges d'un pacient de 60 anys diagnosticat de cataracta C2NO6 on es pot veure un increment homogeni i generalitzat de la senyal de reflexió tant en el nucli com en el còrtex. Tot i això, en el còrtex posterior es poden observar zones localitzades amb una senyal dèbil seguint el mateix patró heterogeni descrit anteriorment. En aquest cas, la càpsula posterior presenta un lleu augment de senyal indicant que també hi ha certa alteració no diagnosticada seguint el sistema LOCS III. Un altre cas amb cataracta mixta es mostra en la Fig. 5.6 (b) d'un subjecte de 80 anys diagnosticat de cataracta C2NO4 i SP4 on es poden observar tots els patrons típics segons la localització de les cataractes. Es pot veure un augment de la senyal de reflexió en tot el cristal·lí,

però de menor intensitat en el nucli. Tot i que l'augment de la reflexió és homogènia en el nucli, en la zona del còrtex es poden veure zones concretes amb un augment de la senyal més elevada que la resta coincidint amb la zona més central del cristal·lí, amb la presència d'alguna zona concreta de més baixa senyal. La càpsula posterior és la que presenta una senyal més elevada amb un increment homogeni de la intensitat de reflexió en tota la càpsula. Un últim cas s'ensenyà en la Fig. 5.6 (c) d'un subjecte de 48 anys diagnosticat de cataracta C1 i SP3 on es pot veure un augment homogeni de la senyal en la càpsula posterior, una senyal molt baixa en la zona nuclear sense opacitat, i una intensitat de senyal més elevada en el còrtex anterior seguint la típica distribució heterogènia. En tots els casos en les imatges en 3D laterals, es pot veure un patró homogeni en el nucli, l'opacitat del còrtex sol ser més heterogènia i les cataractes subcapsulars posteriors segueixen un patró estriat.

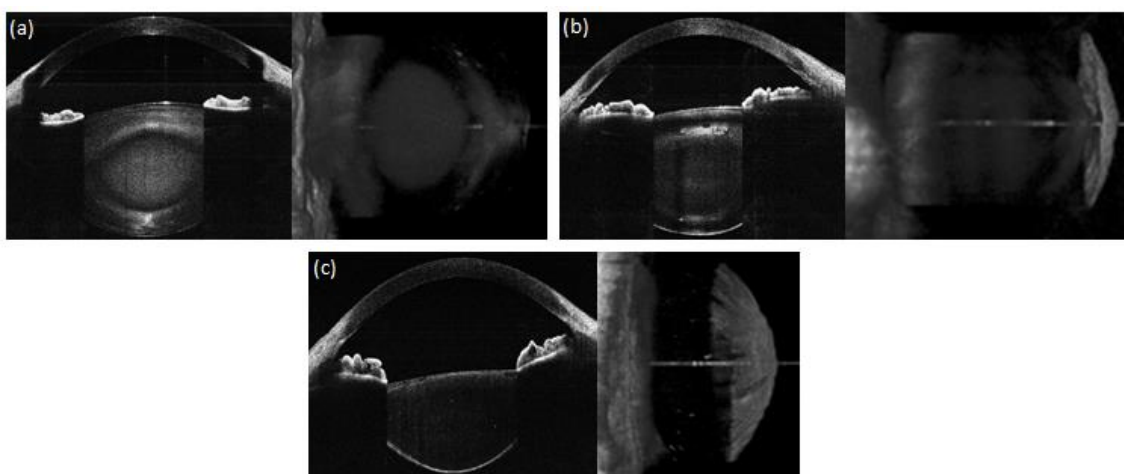


Fig. 5.6: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament de cataractes mixtes. (a) Cataracta mixta C2NO6. (b) Cataracta mixta C2NO4 i SP4. (c) Cataracta mixta C1 i SP3.

Per finalitzar els casos de cataractes, es presenta el mateix cas que l'anterior en la Fig. 5.7 corresponent a subjecte de 48 anys però en l'ull contrari no diagnosticat de cataractes. En aquest es poden observar petites localitzacions definides amb un increment de la intensitat de la senyal localitzades especialment en la zona perifèrica del còrtex. La resta del cristal·lí presenta una intensitat de senyal fisiològica. En la imatge 3D lateral també es poden veure aquestes petites localitzacions. Aquest pacient no ha estat diagnosticat de cap opacitat en el cristal·lí però a través de l'OCT, es poden observar petites alteracions escampades pel cristal·lí que podrien indicar un inici de cataracta no visible a través de la làmpada d'esclatxa.

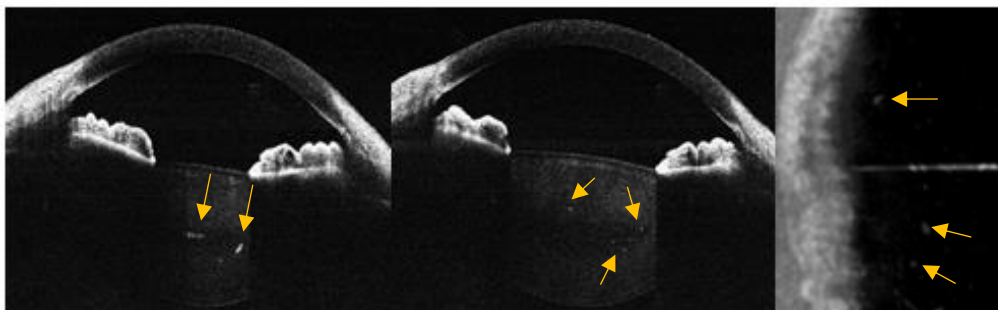


Fig. 5.7: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'opacitats perifèriques en el cristal·lí.

5.2.2 Glaucoma

Amb les imatges obtingudes amb l'OCT també es poden veure estructures importants per determinar si un pacient té més risc de desenvolupar glaucoma, com la profunditat de la cambra anterior i l'apertura de l'angle iridocorneal, que segons les seves característiques, podran provocar un augment de la pressió intraocular [1,84,85]. La Fig. 5.8 (a) mostra les imatges d'un subjecte de 62 anys diagnosticat amb cambra anterior i angle iridocorneal estret. En aquests casos no ens fixarem en la intensitat de reflexió de la llum en les diferents estructures sinó en la seva morfologia. Si es comparen les imatges obtingudes amb les d'un pacient sa, es pot observar com en aquest cas hi ha una profunditat de cambra anterior més baixa i un angle iridocorneal bastant tancat. Estudiar aquestes estructures és important en la prevenció del glaucoma i poder determinar si pot ser necessària la cirurgia d'iridotomies [1,84]. En aquest cas, ja se li van practicar iridotomies com es pot observar en la Fig. 5.8 (b i c). És difícil a través de la imatge en 3D poder valorar l'amplitud de la cambra i l'apertura de l'angle iridocorneal, però sí que pot ser útil per visualitzar les iridotomies practicades com en aquest cas.

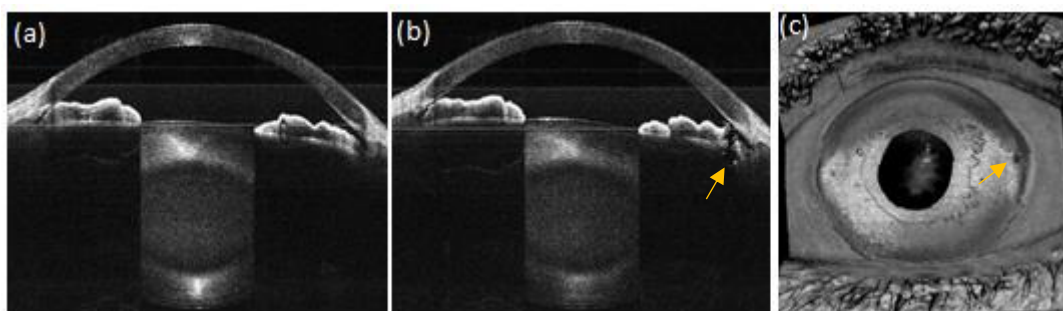


Fig. 5.8: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament de cambra anterior i angle iridocorneal estret. (a) Angle i cambra estrets. (b i c) Iridotomies.

5.2.3 Altres patologies (Screening)

- **Alteracions en el cristal·lí**

Poder visualitzar el cristal·lí, també permet veure l'adherència de partícules en la càpsula que es veuran representades com increments localitzats de la senyal degut a que són estructures opaques. La Fig. 5.9 (a) mostra un subjecte de 51 anys diagnosticat de pseudoexfoliació (PEX) on s'observa l'adherència de partícules i un filament formats de teixit en la càpsula anterior. Un altre cas és el de la Fig. 5.9 (b) d'un subjecte de 51 anys no diagnosticat de partícules en el cristal·lí ni pseudoexfoliació, però en l'OCT sí que es poden veure adherències amb una elevada intensitat de la senyal en la càpsula anterior. La Fig. 5.9 (c) d'un subjecte de 77 anys mostra la presència d'una partícula amb elevada senyal no diagnosticada adherida en la perifèria de la càpsula posterior. Finalment la Fig. 5.9 (d) mostra la imatge d'un pacient de 7 anys no inclòs en l'estudi però que s'ha considerat d'interès, diagnosticat d'un artefacte adherit a la càpsula posterior, on es pot veure com un filament enganxat al seu centre amb creixement cap a la cambra vítria. Amb les imatges 3D es pot veure millor la localització i extensió d'aquestes partícules, tot i que com més petites siguin, més difícil serà veure-les.

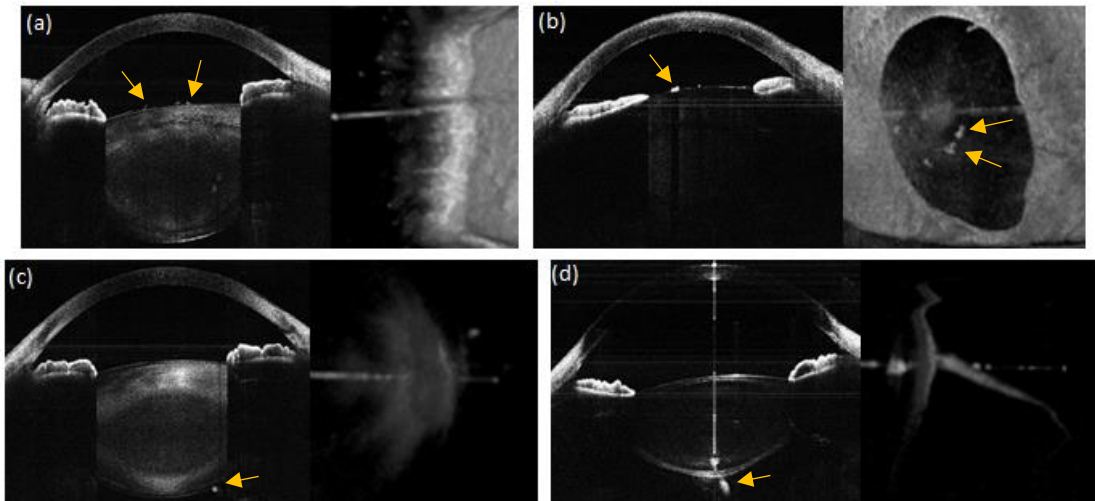


Fig. 5.9: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'artefactes adherits al cristal·lí. (a i b) Partícules adherides a la càpsula anterior. (c i d) Partícules adherides a la càpsula posterior.

- **Alteracions en la còrnia**

Com la còrnia és una estructura amb una alta transparència, normalment les seves alteracions són degudes a la seva opacitat o bé alguna cirurgia. Aquesta pèrdua de transparència es veurà com un augment homogeni de la intensitat de la senyal que pot ser extensa o localitzada segons la patologia [86]. La Fig. 5.10 (a) mostra un subjecte de 77 anys diagnosticat de leucoma central en l'UE i la Fig. 5.10 (b) el mateix pacient diagnosticat d'úlceres perifèriques en l'UD. En la imatge de l'UE es pot veure un augment uniforme i elevat de la senyal de reflexió en quasi bé tota l'extensió i profunditat de la còrnia, mostrant que hi ha una alteració generalitzada. En canvi, per l'UD es poden veure petits increments de la senyal en zones molt localitzades de l'estroma perifèric de la còrnia, mostrant que són alteracions més localitzades i de menor extensió. Aquestes alteracions es poden veure en les imatges en 3D frontal on es pot observar la morfologia i extensió que ocupen, generalitzada en el primer cas en còrnia central i més localitzada en la perifèria en el segon.

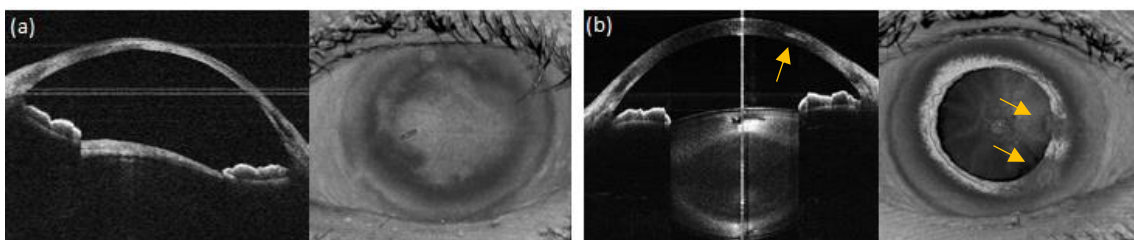


Fig. 5.10: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'opacitats corneals. (a) Leucoma central. (b) Úlceres perifèriques.

Uns altres casos d'opacitats corneals són els que es mostren en la Fig. 5.11 (a) d'un subjecte de 38 anys diagnosticat de distròfia de Fuchs avançada, on es pot observar un increment no gaire elevat i lineal de la senyal en la part posterior de la còrnia, i en la Fig. 5.11 (b) d'un subjecte de 85 anys diagnosticat de queratitis puntejada superficial on es pot observar un increment de la senyal en la zona corneal anterior central bastant extens, afectant aproximadament fins l'estroma.

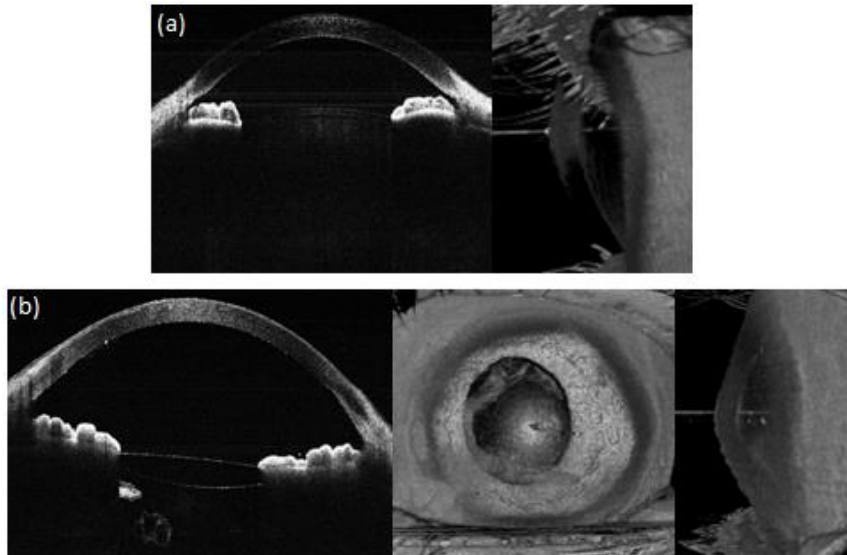


Fig. 5.11: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'opacitats corneals. (a) Distròfia de Fuchs. (b) Queratitis puntejada superficial.

La Fig. 5.12 (a) d'un subjecte de 62 anys diagnosticat de degeneració corneal superior, mostra un increment de la senyal extens en gairebé tota la còrnia afectant a les capes més superiors. Tot i això en la còrnia inferior, també es pot apreciar aquest patró tot i que en una menor intensitat, mostrant que en aquesta zona possiblement també hi ha certa degeneració no diagnosticada. En la Fig. 5.12 (b) d'un subjecte de 66 anys diagnosticat d'arc senil, es pot observar aquest increment de senyal localitzat en l'estroma perifèric de la còrnia separat del limbe i la resta de còrnia sana. No sempre la pèrdua d'opacitat es produeix en la mateixa còrnia, ja que es pot donar el cas que en aparegui alguna estructura en la seva part anterior, com és el cas de la Fig. 5.12 (c) d'un subjecte de 60 anys diagnosticat de pterigium, on es pot observar aquest augment de senyal com un creixement de teixit hiperreflectiu perifèric i sobre la còrnia podent veure la seva extensió i gruix.

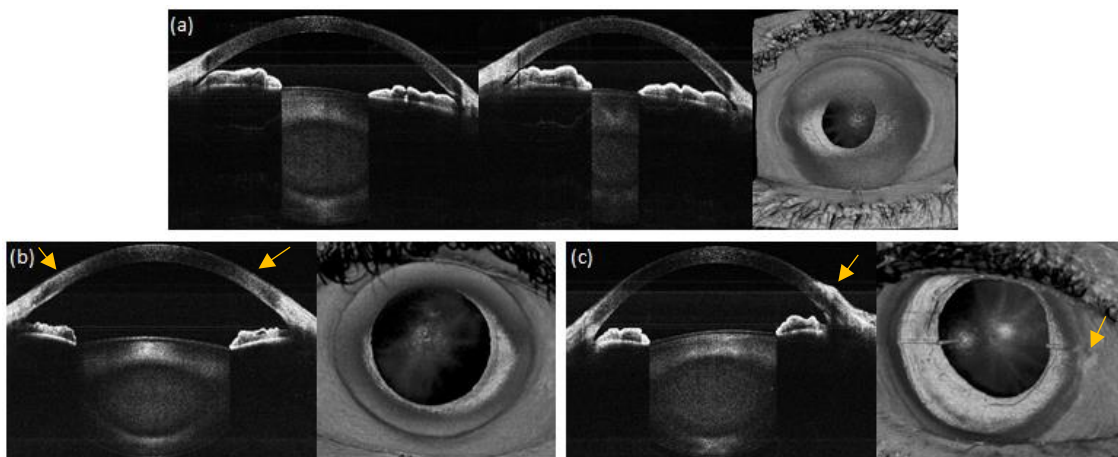


Fig. 5.12: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'opacitats corneals. (a) Degeneració corneal superior. (b) Arc senil. (c) Pterigium.

No solament les alteracions corneals es poden veure com augemts de la senyal degut a la pèrdua de transparència, a vegades les lesions són tant petites que difícilment es pot apreciar aquesta hiperreflexió, però sí que es pot veure l'ombra que projecten en les altres estructures [86,87], com és el cas que es presenta en la Fig. 5.13 (a) d'un subjecte de 57 anys diagnosticat

de neovascularització corneal, on no es pot apreciar la presència d'aquests vasos com a punts hiperreflectius, tot i així sí que es pot veure on estan localitzats a partir de l'ombra que projecten a les estructures més internes al no deixar passar la llum, fent que apareguin línies verticals amb una baixa intensitat de senyal corresponents a les zones on estan localitzats aquests vasos. En la imatge en 3D es pot apreciar molt bé la distribució d'aquests vasos per l'ombra que projecten sobre l'iris. Finalment un últim cas d'alteracions corneals que combinen tan un augment com una reducció de la senyal, és el cas que es mostra en la Fig. 5.13 (b) d'un subjecte de 56 anys operat de queratoplàstia lamel·lar posterior amb queratotomia radial prèvia. En l'OCT es poden veure els límits del transplantament, podent observar la part de la còrnia trasplantada i la natural del pacient. Aquest límit està delimitat per un increment de la senyal en forma de línia vertical hiperreflectiva que travessa tota la còrnia. A més, en la part de la còrnia natural del pacient, també es poden veure increments localitzats de senyal en les capes anteriors de la còrnia, possiblement degudes a les cicatrius producte de la queratotomia radial. En la imatge en 3D frontal, es poden observar aquestes alteracions per l'ombra que projecten a l'iris. Degut a que les cicatrius que es formen són molt opaques, es poden veure unes línies negres en la perifèria de la còrnia corresponents a la queratotomia i una zona circular corresponent al límit del transplantament.

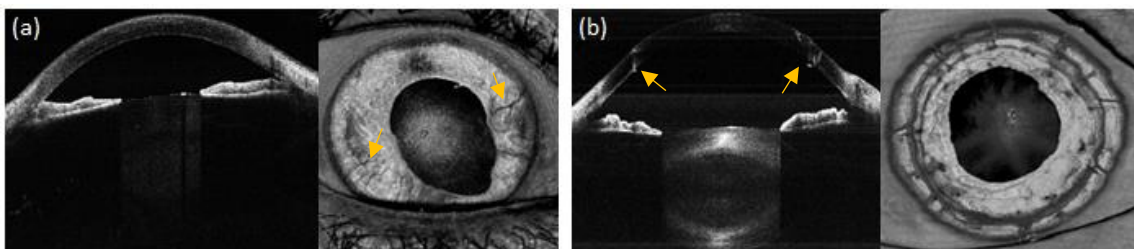


Fig. 5.13: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'opacitats corneals. (a) Neovascularització corneal. (b) Queratotomia radial amb queratoplàstia lamel·lar.

- **Alteracions pupil·lars**

Habitualment en la zona de l'iris les patologies que es produiran seran per alteracions en la seva morfologia habitual i no per canvis en la intensitat de la senyal, tot i que es pot donar el cas de que perdi pigment [84,85]. En aquest treball s'han trobat casos on s'ha alterat la seva morfologia. La Fig. 5.14 (a) mostra un subjecte de 57 anys diagnosticat de discoria pupil·lar a les 5h amb paràlisi local del múscul esfínter. En la imatge es pot veure una anomalia en la pupil·la ja que la mida és diferent en els dos costats, es veu més iris en el costat esquerra que el dret demostrant que hi ha una irregularitat. Un altre cas es presenta en la Fig. 5.14 (b) d'un subjecte de 58 anys diagnosticat de sinèquies anteriors perifèriques, on es pot veure com a nivell perifèric hi han alteracions en la morfologia pupil·lar provocant una adherència de la cara anterior de l'iris amb la còrnia podent induir un tancament de l'angle iridocorneal. Finalment, un últim cas és el mostrat en la Fig. 5.14 (c) d'un subjecte de 50 anys diagnosticat de sinèquia posterior central, on es pot observar com a nivell central hi ha una alteració pupil·lar amb una adherència de l'iris posterior amb el cristal·lí. En les imatges en 3D es poden veure molt bé aquestes alteracions. En el cas de les sinèquies anteriors és bastant difícil poder apreciar si hi ha realment una adherència amb la còrnia, tot i això, sí que es pot apreciar el volum de l'alteració.

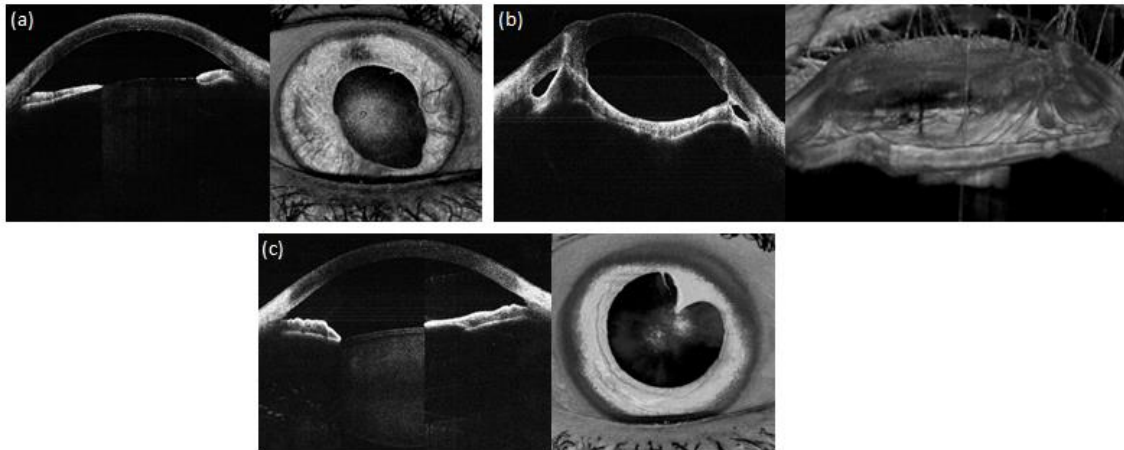


Fig. 5.14: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament d'alteracions pupil·lars. (a) Discoria pupil·lar. (b) Sinèquies anteriors perifèriques. (c) Sinèquia posterior central.

5.2.4 Intervencions quirúrgiques amb lents intraoculars

Existeixen varies tècniques que requereixen d'implants de lents intraoculars per corregir la graduació. És important poder veure la localització i posició d'aquestes lents degut a que podrien provocar certes patologies oculars o errors refractius no desitjats [88,89]. Al tenir una elevada transparència, la senyal de reflexió que es produirà en aquestes serà nul·la, tot i això sí que es produeix un augment d'aquesta intensitat en la cara anterior i posterior de la lent, podent-les localitzar com a línies homogènies hiperreflectives solament en les seves dues cares, amb el seu interior sense cap senyal [88,89]. Un fenomen que es pot veure en aquestes lents és l'adherència de partícules, teixit o membranes tant en la seva cara anterior com posterior, que es veuran com a masses amb augment de senyal amb una morfologia determinada enganxades a les lents [90]. En aquest apartat es parlarà tant de lents fàquiques com pseudofàquiques.

- **Lents fàquiques**

Són aquelles lents implantades en casos de cirurgia refractiva (lensectomia) que es poden posar en la cara anterior o posterior de l'iris [88]. En aquest treball solament hem vist casos d'implants en la seva cara anterior. En la Fig. 5.15 (a) d'un subjecte de 57 anys operat prèviament de lensectomia, es pot veure la seva localització i recolzament sobre la cara anterior de l'iris alterant la seva morfologia. A més, també es pot observar com hi ha un impacte del centre d'aquesta lent amb la cara anterior central del cristal·lí, provocant una lleu alteració en el còrtex anterior en forma d'augment homogeni de la senyal en la zona d'impacte. A més, es pot observar un patró heterogeni d'intensitat típic de les cataractes corticals en el còrtex posterior. Un cas similar es presenta en la Fig. 5.15 (b) d'un subjecte de 54 anys també operat prèviament de lensectomia, on es pot veure que la lent implantada està en la mateixa zona que el cas anterior, tot i això no hi ha impacte de la lent amb el cristal·lí degut a que hi ha una distància més elevada entre les dues. Tot i no haver aquest impacte, es pot veure un patró heterogeni d'intensitat en el còrtex posterior indicant una cataracta en aquesta zona. Les imatges en 3D no aporten molta informació degut a que a l'estar implantades a l'iris que té una senyal més elevada que la lent, és difícil que es puguin veure, tot i això si la lent està en la seva cara anterior, frontalment es podrà veure la seva posició i ancoratge a l'iris.

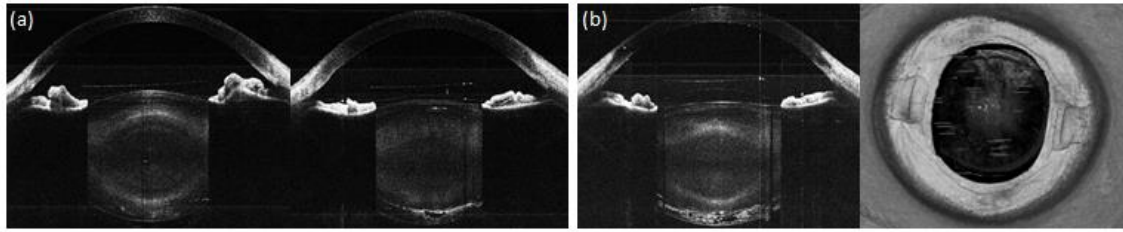


Fig. 5.15: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament de lents fàquiques. (a) Implant anterior a l'iris amb impacte en el cristal·lí amb cataracta C1NO2 i SP2. (b) Implant anterior a l'iris sense impacte amb el cristal·lí amb cataracta SP2.

- **Lents pseudofàquiques**

Són aquelles lents implantades en el tractament de cataractes (facoemulsificació) quan el cristal·lí és substituït per una lent, que poden anar ancorades a l'iris o a la zona del sulcus (regió entre la cara posterior de l'iris i l'anterior als processos ciliars) [89,90]. La Fig. 5.16 (a) d'un subjecte de 85 anys ja operat de facoemulsificació i amb la capsulotomia posterior, mostra l'implant de la lent ancorada en la cara posterior de l'iris i que en la seva part central la lent està neta. Tot i això es pot veure com en la zona central perifèrica de la lent i en la perifèria de la mateixa, encara hi han restes de teixits hiperreflectius molt propers a la cara posterior de la lent. Un cas similar es presenta en la Fig. 5.16 (b) d'un subjecte de 54 anys amb les mateixes característiques però en aquest, la lent està situada en una posició diferent més posterior a l'iris, en el sulcus. També es poden observar restes de teixit hiperreflectius adherits a la zona perifèrica de les dues cares de la lent, mentre que la seva part més central està completament neta. Un altre cas interessant s'ensenya en la Fig. 5.17 d'un subjecte de 71 anys sense haver practicat la capsulotomia. Igual que el cas anterior la lent està implantada en el sulcus i sense presència de teixit, ja que no s'observen masses hiperreflectives però, el curiós d'aquest cas, és que es pot veure com la lent està inclinada. Les imatges 3D en aquest tipus de lents aporten més informació que les fàquiques, ja que es podrà veure l'extensió que ocupen les restes de teixit adherits a les lents. La seva posició no es podrà veure en les lents ancorades a l'iris degut a que aquest té una senyal més elevada, però les situades en el sulcus sí es podran visualitzar.

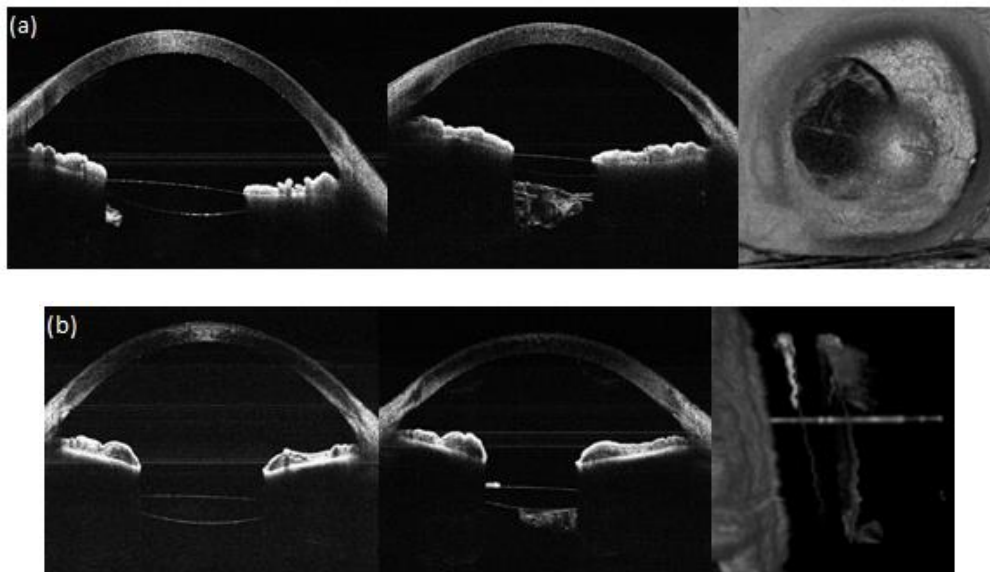


Fig. 5.16: Imatges transversals i 3D d'OCT en desenvolupament de lents pseudofàquiques. (a) Implant posterior a l'iris amb capsulotomia. (b) Implant en el sulcus amb capsulotomia. (c) Implant inclinat en el sulcus sense capsulotomia.

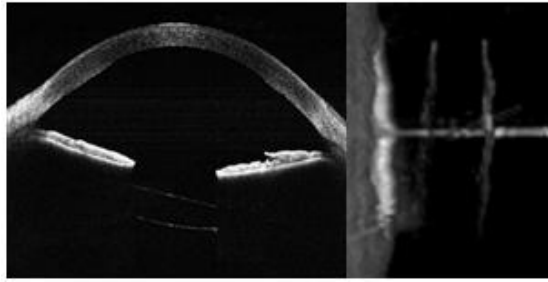


Fig. 5.17: Imatge transversal i 3D d'OCT en desenvolupament d'una lent pseudofàquica implantada en el sulcus capsulotomia.

Un últim cas és el que es presenta en la Fig. 5.18 d'un subjecte de 72 anys sense haver practicat la capsulotomia, on es pot observar que la lent està implantada en el sulcus però hi han restes de teixits adherits a les dues cares de la lent. A diferència dels casos anteriors, el teixit ocupa tota la zona central de la lent afectant a la visió.

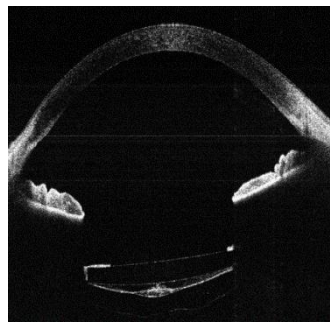


Fig. 5.18: Imatge transversal d'OCT d'una lent implantada en el sulcus sense capsulotomia.

5.2.5 Oculoplastia

En aquest estudi no s'ha tingut cap pacient del departament d'oculoplastia, tot i això amb el mòdul 3D es podria valorar l'aplicació de l'OCT també en aquest departament en casos patològics, de malformacions, localització i profunditat dels punts practicats durant la cirurgia, etc. La Fig. 5.19 mostra un subjecte de 67 anys diagnosticat de ptosis en els dos ulls. En comparació amb la imatge 3D frontal obtinguda d'un pacient sa, es pot observar com la parpella superior està caiguda envaint quasi bé la zona pupil·lar.

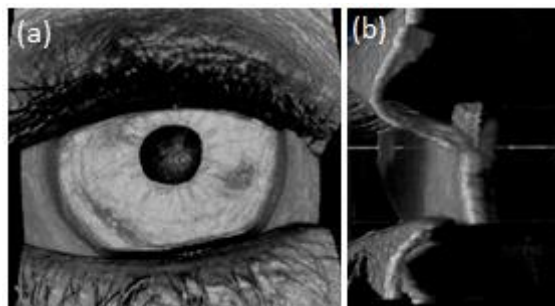


Fig. 5.19: Imatges 3D d'OCT en desenvolupament d'un pacient amb ptosis. (a) Frontal. (b) Lateral.

Inclús amb l'ampliació del mòdul en 3D agafant una zona més ampla de l'ull, es podria veure una extensió molt més gran de la part anterior del globus ocular, com es mostra en la Fig. 5.20.

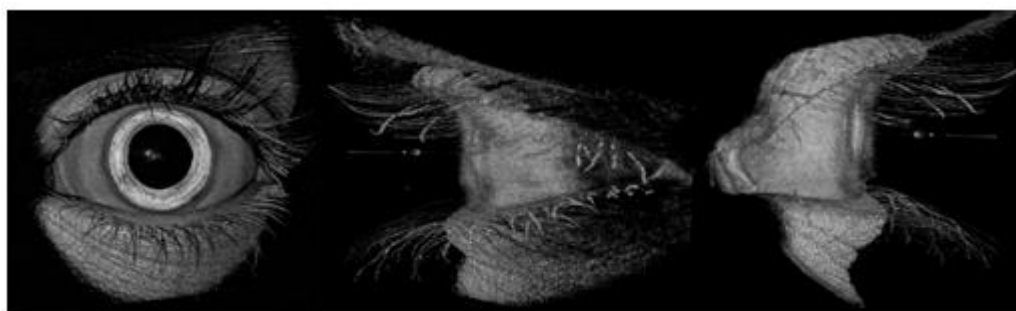


Fig. 5.20: Imatges 3D d'OCT en desenvolupament del segment anterior ampliat d'un pacient sense cap patologia.

5.3 Comparativa amb sistemes comercials

Com s'ha explicat anteriorment, s'han avaluat una sèrie de paràmetres biomètrics dels pacients inclosos en l'estudi mitjançant les imatges del prototip d'OCT i també mitjançant les imatges de l'OCT Visante i els resultats del biòmetre IOL Master 700. En aquest apartat es mostra un exemple de la rellevància clínica d'aquests paràmetres.

Degut a la gran importància d'avaluar numèricament diferents estructures que formen la cambra anterior per la prevenció del glaucoma, per aquest apartat s'han seleccionat tres pacients amb diferents graus de cambra anterior mostrant les imatges obtingudes amb el prototip d'OCT i el Visante. El primer subjecte es mostra en la Fig. 5.21 (a1 i a2) d'un pacient de 58 anys amb la cambra normal, el segon amb una edat de 71 anys i una cambra estreta es mostra en la Fig. 5.21 (b1 i b2), i finalment un subjecte de 76 anys diagnosticat de cambra molt estreta s'ensenyava en la Fig. 5.21 (c1 i c2).

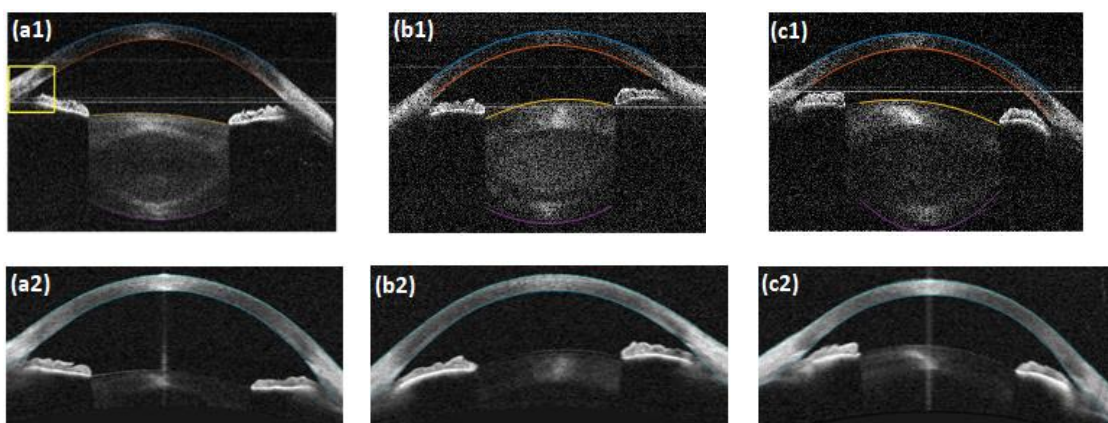


Fig. 5.21: Imatges transversals del prototip d'OCT i Visante. (a) Cambra normal. (b) Cambra estreta. (c) Cambra molt estreta.

En la Taula 5.1 que es mostra a continuació, es mostren els valors obtinguts de cada estructura dels pacients seleccionats mitjançant els instruments utilitzats.

Subjecte amb cambra normal	Prototip d'OCT	OCT Visante	IOL Master 700
CCT (μm)	583	585	586
ACD (mm)	3.06	3.10	3.64
LT (mm)	4.09		4.18
AOD500 esquerra (mm)	0.58	0.44	-
AOD500 dret (mm)	0.46	0.39	-
TISA500 esquerra (mm^2)	0.21	0.15	-
TISA500 dret (mm^2)	0.18	0.17	-
Subjecte amb cambra estreta	Prototip d'OCT	OCT Visante	IOL Master 700
CCT (μm)	568	573	578
ACD (mm)	2.25	2.47	2.90
LT (mm)	4.85	-	4.92
AOD500 esquerra (mm)	0.22	0.28	-
AOD500 dret (mm)	0.23	0.08	-
TISA500 esquerra (mm^2)	0.08	0.15	-
TISA500 dret (mm^2)	0.09	0.06	-
Subjecte amb cambra molt estreta	Prototip d'OCT	OCT Visante	IOL Master 700
CCT (μm)	549	549	550
ACD (mm)	1.99	2.11	2.55
LT (mm)	4.65	-	4.37
AOD500 esquerra (mm)	0.18	0.1	-
AOD500 dret (mm)	0.11	0.18	-
TISA500 esquerra (mm^2)	0.07	0.06	-
TISA500 dret (mm^2)	0.06	0.07	-

Taula 5.1: Mesures estretes de diferents pacients amb diferent amplada de cambra anterior amb el prototip d'OCT, l'OCT Visante i l'IOL Master 700.

De tots els mètodes utilitzats, el prototip d'OCT és l'únic amb el que es poden extreure totes les mesures de rellevància clínica del segment anterior mencionades, ja que les imatges d'aquest s'extenen des de la cara anterior de la còrnia fins la cara posterior del cristal·lí, però també van de l'angle nasal a l'angle temporal. Aquests paràmetres tenen un gran rellevància, no solament per l'estudi de cambres i angles estrets, que comporten un risc pel desenvolupament del glaucoma d'angle tancat, sinó també pel preoperatori de tot tipus d'intervencions del segment anterior i el càlcul de la potència de lents intraoculars. Es poden observar diferències entre els paràmetres obtinguts amb els diferents mètodes. Degut al gran nombre de dades recollides en l'estudi, l'anàlisi estadístic i la correlació entre les mesures efectuades amb els diferents instruments es surt dels objectius d'aquest treball, deixant-los per un estudi posterior.

6. Discussió

En aquest apartat es farà un anàlisi dels resultats obtinguts a través de l'experimentació i es relacionaran amb els objectius descrits inicialment per dur a terme la investigació i amb estudis d'altres autors.

Un cop visualitzades les imatges obtingudes de cada pacient explorat, s'ha pogut demostrar com l'OCT anterior és una bona tècnica per fer l'estudi, diagnòstic i aplicació d'un tractament en el cas que sigui necessari de patologies que afecten al segment anterior, al ser una tècnica no invasiva, que té una elevada penetració en teixits i estructures, aconseguint imatges amb una elevada qualitat i una resolució micromètrica [69]. Aquesta nova OCT al tenir una major profunditat de focus respecte les actuals, pot obtenir imatges del segment anterior de la còrnia fins la cara posterior del cristal·lí, respecte les actuals que solament arriben a la cara anterior del cristal·lí [69], permetent tenir una visió més detallada i completa del segment anterior. Per poder obtenir les imatges i poder diferenciar en elles les diferents estructures que el formen, la reflexió de llum infraroja que es produeix en cada estructura ocular tindrà una intensitat de senyal diferent degut a les seves propietats [12]. Per tant, aquelles estructures que són més opaques com l'iris o l'escleròtica, apareixen amb una elevada intensitat de senyal, les semitransparents com la còrnia i el cristal·lí amb una baixa intensitat de senyal, i les totalment transparents com l'aire, l'humor aquós o el vitri amb una intensitat nul·la [12,16,65].

L'estudi del segment anterior a través de l'OCT, és una tècnica que ja fa bastants anys que es duu a terme en les consultes oftalmològiques per l'exploració de la còrnia i la cambra anterior per complementar l'exploració dels metges [11,14,15,17]. Tot i això, amb el desenvolupament d'aquesta nova OCT que permet obtenir imatges de tot el cristal·lí, una patologia que es pot veure beneficiada millorant el seu diagnòstic i seguiment són les cataractes [69], ja que actualment el seu diagnòstic es realitza seguint el sistema LOCS III [6,18,61]. Amb la tècnica d'OCT tant es podran observar les característiques d'estructures oculars com alteracions o irregularitats en la seva morfologia normal. A més també es podran veure alteracions en la seva transparència a través de canvis en la intensitat de la senyal en les estructures oculars [19,83]. Aquestes s'observaran com un augment (hiperreflexió) o reducció (hiporreflexió) de la intensitat de senyal en la zona on es produeixi respecte la seva reflexió fisiològica [18,19,83,86].

L'avaluació del cristal·lí a través d'imatges d'OCT és una eina molt nova a diferència d'altres estructures del segment anterior [1,2]. S'ha comprovat que en condicions fisiològiques, les diverses parts que el formen (nucli, còrtex i càpsula), presenten una reflexió homogènia en tota la seva extensió, tot i que amb un grau diferent d'intensitat de senyal, podent-les diferenciar [18,19,83]. Això és degut a que cada zona dispersarà la llum de manera diferent segons les seves característiques, provocant un increment de senyal com més es dispersi la llum [18,19,45,47]. En general, la transparència del cristal·lí depèn de la presència d'orgànuls cel·lulars, l'espai entre les fibres i la seva disposició regular [45]. El nucli és la zona que presenta una intensitat de senyal més dèbil degut a la presència de fibres compactes sense orgànuls amb una disposició regular [45,47]. En canvi, el còrtex presenta un petit increment d'aquesta intensitat en tota la seva extensió, ja que les fibres que el formen encara no han perdut totalment els seus orgànuls [47]. Finalment la càpsula, es pot diferenciar del còrtex degut a que presenta un lleu increment de senyal respecte aquest, en la seva cara anterior i posterior, presentant en el seu centre una intensitat similar a la del còrtex. S'ha pogut comprovar també com la càpsula anterior és la zona que presenta una intensitat de senyal més elevada de tot el cristal·lí per la presència d'una monocapa de cèl·lules epitelials fent que sigui la zona del cristal·lí amb més dispersió de llum

[47]. Aquest fet també ha sigut contrastant amb varis estudis on s'han obtingut imatges d'OCT del cristal·lí amb diferents aparells i poblacions [18,19,83].

Com s'ha dit no hi ha molta bibliografia al respecte a com s'han de veure les alteracions en el cristal·lí a través d'imatges d'OCT, però a partir de l'estudi realitzat i revisant la bibliografia actual, s'ha pogut veure com les alteracions en la fisiologia del cristal·lí es poden observar com canvis de la intensitat de senyal fisiològica dels subjectes [19,83]. Una pèrdua de transparència deguda a la presència d'alguna opacitat, s'observarà com un augment de la intensitat de la senyal (hiperreflexió) sent major com més elevat sigui el grau d'opacitat, que pot ser extens en casos de cataractes o local degut a canvis microestructurals o petites opacitats [18,19,83]. En canvi, les alteracions per la presència d'acumulació d'aigua (vacuoles, bombolles o esclerxes d'aigua extracel·lular), aire o defectes tissulars per dany de les fibres, s'observaran com una reducció o nul·litat de la intensitat de la senyal (hiporreflexió) que solen estar més localitzades amb una extensió variable [18,19,83]. Aquestes alteracions tant poden tenir una distribució homogènia si hi ha una disposició regular de les fibres o heterogènia en cas contrari [18,19,83].

Ja es ben sabut que la formació de cataractes té diferents causes [9,10], que poden fer que apareguin en una de les seves zones divisòries en concret (nucli, còrtex i càpsula) fent que siguin cataractes pures d'una zona [45,56], o en varies zones a la vegada fent que siguin cataractes mixtes, podent presentar diferents graus d'opacitat [8]. Per aquest mateix motiu, la pròpia classificació de les cataractes es realitza a través de la zona estructural on està formada [8,18]. Amb l'observació d'imatges d'OCT de gran quantitat de subjectes amb diferents tipus i graus de cataractes, s'ha pogut veure com aquestes presenten morfologies diferents segons la seva situació. S'ha comprovat com les alteracions en la zona nuclear i capsular posterior es presenten en forma de pèrdua de la seva transparència amb increment homogeni i extens de la intensitat de la senyal [18,19] en canvi, les alteracions en la zona cortical (tant anterior com posterior) presenten una distribució més heterogènia amb la presència de zones extenses amb increment de senyal per pèrdua de la transparència, combinades amb altres zones normalment més localitzades amb una dèbil senyal de reflexió, provocades per acumulació d'aigua o defectes en el teixit del cristal·lí [18,19,83]. A més, la morfologia de les cataractes nuclears i capsulars posteriors sol ser constant, en canvi les corticals es poden presentar amb diferents formes i graus d'opacitat en la seva part anterior i posterior [18,19]. Un altre aspecte important, és que la càpsula anterior rarament s'opacifica degut a que és una zona que conté cèl·lules epitelials en continua renovació [8,45] i les cataractes en la càpsula posterior, en una representació en 3D solen seguir un patró estriat. A més, no solament apareixen canvis de senyal quan hi ha una cataracta diagnosticada seguint el sistema LOCS III. S'ha pogut comprovar com en pacients joves sense aquest diagnòstic, poden apareixen petites localitzacions definides amb un increment de la intensitat de la senyal situades especialment en la zona perifèrica del còrtex, provocades per canvis microestructurals que podrien indicar un inici de cataracta [18].

També s'ha pogut comprovar com el sistema LOCS III és útil per diagnosticar les cataractes basant-se en una gradació subjectiva [6,18,61], tot i això s'han vist casos en que hi havien opacitats en el cristal·lí no diagnosticades amb el sistema LOCS III que amb imatges d'OCT sí que es podien observar, altres en que no coincidia la zona de màxima intensitat de senyal del cristal·lí amb la zona de màxim grau de cataracta diagnosticada amb el sistema LOCS III, i en algun cas on no coincidia la localització de la cataracta seguint el sistema LOCS III i el mostrat amb imatges d'OCT. Aquestes diferències es poden deure a que el sistema LOCS III requereix de certa experiència i a vegades es pot donar el cas de que sigui imprecís o provoqui confusions de la situació estructural de la cataracta [6,18,61].

Com s'ha dit amb anterioritat, la utilització del sistema d'OCT anterior per fer screening de patologies que puguin afectar zones del segment anterior com la còrnia i la cambra anterior està molt estudiada [11,14,17], pel que s'està més familiaritzat per diagnosticar alteracions en aquestes zones solament amb l'observació de les seves imatges d'OCT. Tot i això, l'increment de la tecnologia amb l'obtenció d'imatges cada cop amb una resolució més elevada permet fer una exploració més detallada de les diferents estructures [64]. Un exemple és que un augment en la resolució de les imatges, permet fer una millor observació de l'anatomia i alteracions morfològiques, útil per la prevenció del glaucoma al poder observar amb més detall l'angle iridocorneal i així, valorar la necessitat de practicar alguna cirurgia ocular per evitar la seva aparició amb el temps [1,84]. A més, poder observar també alteracions en la morfologia normal de l'iris i de la pupil·la, permet veure si hi ha una elevada probabilitat de tancament de l'angle iridocorneal o la presència d'irregularitats o quists en la cara anterior de l'iris [84,85].

Al igual que en el cristal·lí, la pèrdua de transparència en la còrnia també s'observa com un increment de la intensitat de la senyal [86]. La còrnia és una estructura semitransparent [28] fent que en les imatges d'OCT, aparegui com un estructura amb una dèbil intensitat de senyal homogènia en tota la seva extensió. En aquesta solament s'intueix un lleu increment d'aquesta senyal en la zona anterior epitelial i posterior endotelial, que permet veure certa diferència respecte la resta. Habitualment, les alteracions de la còrnia són degudes a la presència d'opacitats que poden ser extenses o localitzades en funció de la patologia [86]. Tot i que no es poden veure els límits de cada capa, al poder veure la profunditat d'aquestes lesions i conèixer l'anatomia de la còrnia es podrà deduir quina és l'extensió de l'afectació, sobretot si l'estroma està afectat ja que és la capa més gruixuda [27,32,33]. Les alteracions corneals no solament afecten a l'interior de la còrnia, ja que poden apareixen teixits o artefactes opacs en la seva superfície que s'observaran com increments de senyal amb una morfologia determinada, al igual que també es poden adherir partícules en la seva cara posterior, que es veuran com increments localitzats de la senyal en aquesta zona.

Altres alteracions que es poden observar amb l'OCT són la presència de partícules, teixits o estructures opaques situades en la cambra anterior o posterior del segment anterior, que es poden adherir a superfícies oculars com el cristal·lí i es veuran com augments homogenis i localitzats de la intensitat de senyal [91]. Aquests artefactes, normalment són restes de teixits oculars que es desprenen, sent habitual la seva presència deguda al síndrome de pseudoexfoliació ocular [91] on partícules de material es poden adherir a la xarxa trabecular, afavorint l'aparició de glaucoma o en la càpsula del cristal·lí, podent provocar cataractes [91]. A través de l'OCT es podran veure aquestes partícules en la càpsula del cristal·lí, però amb ella no es pot observar la xarxa trabecular degut a que és una estructura bastant interna i s'haurà d'observar a través d'un altre mètode [91].

A vegades, les lesions opaques són tant petites que no es poden observar a través de l'OCT degut a que el contrast no es suficient per poder veure-les [84,85], però si es pot observar l'ombra que projecten a estructures més internes al no deixar passar la llum [86,87], amb el que s'observarà una reducció o nul·litat homogènia de la intensitat de la senyal cap a estructures més internes just on està situada l'opacitat. Aquest fenomen es pot observar en casos de neovascularització corneal i adherència de partícules a estructures, tot i que en el cas d'aquestes últimes, habitualment es poden observar degut a la seva major mida.

Una altre utilitat que té l'OCT és per poder veure com han quedat pràctiques quirúrgiques. Cirurgies corneals com la queratoplàstia o la queratotomia radial, deixen cicatrius característiques en la còrnia amb increments homogenis de la senyal amb una morfologia molt

concreta en els dos casos i, al ser molt opaques, també projectaran la seva ombra a altres estructures [86,87]. Les imatges amb OCT i la seva representació en 3D permeten veure l'extensió d'aquestes cicatrius, la seva invasió en la zona pupil·lar podent afectar a la visió, el resultat d'una cirurgia de queratoplàstia i la seva extensió respecte la còrnia natural del pacient. Altres cirurgies com les iridotomies també es poden observar amb l'OCT [1,84]. Es podrà veure la seva morfologia i estructura com una nul·litat homogènia de la senyal d'intensitat en una zona concreta de l'iris corresponent a la perforació produïda amb làser, on s'elimina teixit pigmentant de l'iris [42]. En aquests casos les imatges solament proporcionen informació de l'estat ocular un cop s'ha dut a terme la cirurgia. Tot i això, l'OCT sí que té una elevada utilitat i s'utilitza habitualment en casos quirúrgics de lents intraoculars, tant lents fàquiques com pseudofàquiques per veure la seva localització [88,89]. Aquestes lents tenen una elevada transparència i solament es poden veure gràcies als increments homogenis d'intensitat de la senyal que es produeix en la seva cara anterior i posterior [88,89], mentre que en el seu interior la intensitat de la senyal és nul·la deguda a la seva transparència, podent observar la seva forma. En les actuals OCT, al no tenir una elevada profunditat de focus i segons la localització de l'implant de la lent, no es poden obtenir imatges d'aquestes [11,13,16,65], o s'haurà de sortir del focus habitual per poder obtenir-la sacificant altres àrees d'exploració [88,89].

En el cas de les lents fàquiques, és important poder veure la localització i la seva distància del cristal·lí perquè no hi hagi un impacte entre ells anomenada "vault" [88], ja que hi ha d'haver una distància de seguretat perquè aquesta lent no produeixi danys oculars [88]. Una distància molt baixa podria provocar la formació de cataractes degudes al seu impacte [88]. En la investigació s'han pogut trobar alguns casos interessants de pacients amb una edat inferior als 60 anys. En un hi havia impacte de la lent amb el cristal·lí, amb la formació de cataracta en el còrtex anterior en la zona d'impacte i també en el còrtex posterior. En un altre cas no hi havia impacte de la lent i hi havia una distància de seguretat, tot i això es va formar una cataracta important en la zona del còrtex posterior. El curiós de tot, és que en el cas de l'impacte la formació de la major cataracta no es formés en la zona d'impacte sinó en el còrtex posterior i en el segon, es formés també una cataracta solament en el còrtex posterior sense haver-hi aquest impacte.

En el cas de les lents pseudofàquiques, és important veure la seva localització sobretot en el sulcus i les que requereixen d'una cirurgia especial [89,90]. En alguns casos, pacients operats amb aquestes lents poden presentar defectes refractius no desitjats i a través de les imatges d'OCT es pot valorar que la posició de la lent implantada sigui la correcta, així com la seva inclinació [76]. Un altre funció que pot tenir l'OCT en relació amb aquestes, és la visualització del creixement i adherència de teixit que es pot produir, provocant la pèrdua de visió del pacient. Amb l'OCT es podran veure com masses amb un augment de la intensitat de la senyal adherides a les lents [90], tot i que és més probable que apareguin en la cara posterior degut al creixement de teixit provinent de la càpsula posterior [92]. Habitualment el teixit que apareix en la zona anterior presenta un aspecte homogeni, en cas contrari el teixit de la part posterior pot aparèixer amb un aspecte més heterogeni degut a la presència de perles o bombolles [90], observades amb una nul·la intensitat de la senyal. Poder observar l'extensió d'aquest teixit, i si pot afectar a la zona pupil·lar central provocant una reducció de visió, és útil per poder determinar la necessitat de practicar capsulotomia, així com poder veure el seu resultat [80-93].

Una última utilitat que podria tenir l'OCT que no s'ha posat mai en pràctica en la clínica habitual és la seva utilització en casos clínics d'oculoplastia. En aquest cas, com l'OCT realitza molts talls per poder fer una representació en 3D podria donar informació de patologies, malformacions, cirurgies oculars... per poder fer un seguiment de les mateixes i poder extreure

dades rellevants. Actualment la valoració, seguiment i control post quirúrgics de pacients d'oculoplastia es realitza a través de l'obtenció d'imatges amb càmera fotogràfica, tot i això amb l'OCT també es podria fer una bona representació del segment anterior ocular amb la possibilitat d'obtenir informació interna dels teixits, els punts practicats durant les intervencions quirúrgiques i el control numèric de gruixos i extensions d'alteracions, que aportaria informació extra a l'hora de decidir per un tractament en concret, com en casos de ptosis palpebral.

Una funció extra que aporta aquest prototip d'OCT és que al realitzar gran quantitat de talls horitzontals en diferents plans, permet fer una exploració més detallada del segment anterior i la seva representació en 3D. Poder fer aquesta quantitat de talls ha permès poder explorar zones que en principi no s'han considerat d'interès mèdic on després s'han trobat certes alteracions, com la presència de partícules adheries a estructures o opacitats no diagnosticades. Instruments d'OCT anterior molt utilitzats actualment en la clínica com l'OCT Visante, no permeten obtenir imatges de tot el segment anterior fins la cara posterior del cristal·lí [13], i solament permeten fer un sol tall horitzontal en una zona en concret d'interès prèviament diagnosticada [13], perdent informació important i que sigui necessari anar a buscar zones específiques. A més, amb la nova OCT es poden generar imatges tridimensionals podent realitzar una exploració més detallada i precisa, ajudant al diagnòstic i possible seguiment de patologies oculars.

No solament amb el prototip d'OCT es poden visualitzar imatges, sinó que també es poden obtenir els valors biomètrics de diferents estructures oculars, al igual que també es poden extreure amb l'OCT Visante i amb el biòmetre IOL Master 700. S'ha pogut observar com els diferents paràmetres extrets amb els diferents instruments utilitzats durant l'estudi són molt similars. Tot i això, no s'ha pogut comprovar correctament la correlació entre aquests diferents mètodes i veure si les diferències són estadísticament significatives, degut a que solament s'han obtingut les mesures de pocs pacients respecte la totalitat la mostra inicial, ja que no estava entre els objectius del present estudi. Amb els resultats obtinguts es poden veure certes diferències entre els valors obtinguts, per exemple entre les dues OCT. Això podria ser degut a que l'obtenció dels paràmetres amb l'OCT en desenvolupament es realitza a través del software Matlab que segmenta automàticament les diferents estructures per extreure els valors. En canvi, amb l'OCT Visante aquesta extracció s'ha de fer de manera més manual podent induir a errors a l'hora de seleccionar les zones que generin aquesta variabilitat. A més, el fet d'obtenir amb la nova OCT imatges amb una elevada resolució, fa que les estructures estiguin més delimitades i la segmentació sigui més precisa, en canvi amb l'OCT Visante aquesta segmentació a vegades no es fa correctament degut a que la resolució de la imatge és més baixa.

Un punt important és que s'ha pogut comprovar que el prototip d'OCT és l'únic dels tres mètodes utilitzats que pot extreure totes les mesures descrites d'importància clínica, degut a que pot obtenir imatges completes del segment anterior amb una elevada resolució, de la còrnia fins la cara posterior del cristal·lí, delimitant correctament cada estructura i que l'obtenció de les mesures sigui fiable induïnt un error baix. Per tant, és un mètode fiable a l'hora d'extreure diferents paràmetres biomètrics d'estructures oculars de rellevància clínica per l'exploració de diferents patologies oculars que afecten al segment anterior.

Aquest prototip d'OCT també presenta algunes limitacions. A l'utilitzar llum com a mètode d'avaluació i al tenir una limitada penetració en els teixits [64], no es podran veure parts que estan situades darrere d'estructures opaques com pot ser l'iris, per tant no es podrà observar el que hi ha en la seva cara posterior [13], zona d'interès mèdic ja que poden aparèixer patologies com tumors iridians posteriors, l'estudi del cos ciliar, la xarxa trabecular i l'ancoratge de lents intraoculars en pacients operats de cataractes [13]. Una tècnica que sí permet la visualització

d'aquesta zona a l'utilitzar ultrasons com a mètode d'exploració, és la biomicroscòpia ultrasònica, que tot i tenir una penetració més elevada, la resolució general de la imatge obtinguda és bastant pitjor que l'OCT [1,11,13]. Un altre limitació que presenta aquesta OCT és que no es poden veure les diferents capes de la còrnia, quan s'haurien de poder diferenciar degut a que les cinc capes que la formen tenen diferents característiques [27,32,33]. Això pot ser degut a que s'ha hagut de renunciar una mica de resolució d'imatge en l'OCT en desenvolupament per poder augmentar la profunditat de focus, i així poder obtenir imatges fins la cara posterior del cristal·lí. Si no s'hagués hagut de sacrificar aquesta mica de resolució, el més probable és que aquestes capes es poguessin diferenciar millor. Una última limitació que presenta és que la intensitat de les imatges depèn de molts factors, no solament de les propietats òptiques de cada teixit, sinó també de l'orientació del teixit respecte el feix làser de l'OCT, fent que hi hagi una intensitat més elevada en la zona central i més baixa en la perifèrica.

7. Conclusions

Després d'haver fet una exhaustiva cerca bibliogràfica, realitzar la part experimental i analitzar amb detall l'apartat de resultats i discussió, i sempre que ha sigut possible comparar-ho amb altres autors ja que en aquest aspecte la bibliografia és escassa, s'ha pogut arribar a varies conclusions.

- En general, la tècnica d'OCT anterior és una bona eina per fer una bona exploració del segment anterior, ja que permet veure tant canvis en la transparència d'estructures a partir de canvis en la intensitat de senyal fisiològica que es produeix en cada una, com en la seva morfologia obtenint imatges d'elevada resolució. Una limitació de l'ús de l'OCT per l'estudi del segment anterior és que no es poden visualitzar els teixits situats darrere de l'iris, degut a la seva alta reflectivitat.
- El prototip d'OCT desenvolupat permet obtenir imatges de tot el segment anterior, des de la còrnia fins la cara posterior del cristal·lí i d'angle a angle, mantenint una resolució axial elevada (8 μm). Degut al gran nombre de talls adquirits es poden fer representacions en 3D completes, permetent realitzar una exploració més detallada i precisa del segment anterior. Degut a aquestes característiques, s'ha vist que el sistema pot tenir diverses aplicacions clíniques.
- En l'anàlisi de les imatges dels cristal·lins amb cataractes es pot observar un augment en la intensitat de la senyal de l'OCT en les zones afectades, que s'intensifica amb la maduresa de la lesió, amb respecte a la mateixa zona en un cristal·lí sa. Tot i això, s'ha d'estudiar en major detall si es possible fer una gradació objectiva de les cataractes basant-se en la intensitat de la senyal d'aquesta OCT.
- A més d'un augment general de la intensitat, el prototip d'OCT permet la visualització de canvis estructurals a nivell microscòpic, sobretot en cataractes corticals, en tot el volum del cristal·lí, així com bombolles, vacuoles, esclerxes d'aigua extracel·lular, defectes en el teixit del cristal·lí, així com opacitats microscòpiques en la perifèria del còrtex seguint una disposició radial. En cataractes subcapsulars posteriors s'ha observat que el sistema permet diferenciar si la lesió es troba principalment en el còrtex posterior o si també la càpsula posterior està afectada. Tot i això, l'exploració de cataractes a través de l'OCT està poc estudiada i s'hauria d'estudiar amb més detall la correlació entre les observacions d'imatges amb l'OCT i la histopatologia dels teixits.
- Altres utilitats que té l'OCT anterior són la visualització d'alteracions que poden afectar a la còrnia i cambra anterior, i l'implant de lents intraoculars amb les quals, per les característiques de les OCT anteriors actuals, ja s'està més familiaritzat en la clínica actual.
- Amb el prototip d'OCT es poden extreure de manera fiable diferents paràmetres biomètrics de rellevància clínica comparables amb altres sistemes basats en OCT.

8. Futurs treballs

A partir dels resultats obtinguts en aquest estudi, es considera que les següents línies de treball podrien ser d'interès.

- Com s'ha observat que el prototip d'OCT desenvolupat permet descriure canvis estructurals en el cristal·lí amb una resolució microscòpica, podria ser ideal en la investigació del desenvolupament de cataractes des del seu inici. Seria d'interès poder obtenir imatges d'OCT en pacients sans no diagnosticats de cataractes per poder valorar la prevalença de petites opacitats localitzades en pacients joves, que podrien indicar un inici de cataractes i que segons els sistema LOCS III no es podrien classificar.
- L'elevada resolució axial del sistema permet visualitzar les lesions de la part posterior del còrtex, permetent diferenciar si la càpsula posterior està afectada. Seria interessant valorar si les imatges d'OCT podrien ajudar a evitar o reduir el risc de trencament de la càpsula posterior durant la cirurgia en general, i en casos de cataractes molt adherides a la càpsula com les polars.
- Seria interessant poder estudiar en profunditat el motiu pel que pacients operats amb lents fàquiques desenvolupen prematurament cataractes en el còrtex posterior amb o sense impacte d'aquesta lent amb el cristal·lí.
- Es podria estudiar un mètode per poder fer un seguiment de la progressió de les cataractes, no solament amb la visualització de les imatges, sinó a través dels canvis d'intensitat en la senyal que es deuen de produir a l'avançar aquesta alteració. Es podria determinar un mètode amb l'extracció d'algun valor numèric d'aquesta opacitat a través de la intensitat de la senyal, que permetés gradar les cataractes. També es podria fer una comparativa entre els resultats de diagnòstic obtinguts a través de les imatges d'OCT i el sistema LOCS III i veure la seva correlació.
- En pacients amb alta probabilitat de desenvolupar glaucoma seria interessant valorar els canvis en l'apertura de l'angle iridocorneal en diferents graus d'il·luminació. A més també es podrien valorar aquests canvis en pacients operats amb lents pseudofàquiques.
- Al poder observar amb aquest sistema la posició de les lents intraoculars, es podria valorar si els errors refractius inesperats es deuen a la seva inclinació, o a una localització incorrecte de la zona efectiva de la potencia de la lent. D'aquesta manera es podria estudiar la posició exacte de la lent, la seva inclinació i comparar-ho amb els valors teòrics del biòmetre per quantificar experimentalment si els resultats obtinguts s'aproximen.
- Seria interessant també valorar la possibilitat d'utilitzar aquest mètode en l'oculoplastia per registrar i aportar més informació sobre les patologies que afecten al pol anterior ocular.
- Amb les dades biomètriques recollides en l'estudi, obtinguts amb el prototip d'OCT, amb l'OCT Visante i el biòmetre IOL Master 700, seria interessant fer un estudi estadístic per avaluar la interoperabilitat d'aquests instruments.

9. Bibliografía

1. Lara-Medina, F. J., Ispa-Callén, M. C., Nuñez, A., López-Romero, S., López-Mondéjar, E., Zarco, J. M., González del Valle, F., Exploration of the Anterior Segment by Optical Coherence Tomography-3, *Archivo de la Sociedad Española de Oftalmología*, 2006, vol. 81 (nº 11), p.647-652
2. Branco Ramos, J. L. MD, Li, Y., PhD, Huang, D., PhD, Clinical and Research Applications of Anterior Segment Optical Coherence Tomography – A Review, *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 2009, vol. 37 (nº 1), p. 81-89
3. Romo Arpio, C.A., Garcia Luna, E., Sámano Guerrero, A. Barradas Cervantes, A., Martínez Ibarra, A. A., Villarreal Guerra, P., Gutiérrez Garza, J., Villarreal Guerra, A., Silva Pérez, R. L., Villarreal Villarreal, R., Prevalencia de Glaucoma Primario de Ángulo Abierto en Pacientes Mayores de 40 años de Edad en un Simulacro de Campaña Diagnóstica, *Revista Mexicana de Oftalmología*, 2017, vol. 91 (nº 6), p. 279-285
4. Fernández-Vigo, J. I., Fernández-Vigo, J. A., Macarro-Merino, A., Fernández-Pérez, C., Martínez-de-la-Casa, J. M., García-Feijóo, J., Determinants of Anterior Chamber Depth in a Large Caucasian Population and Agreement Between Intra-ocular Lens Master and Pentacam Measurements of this Variable, *Acta Ophthalmologica*, 2016, vol. 94, p. 150-155
5. World Health Organization. Glaucoma is Second Leading Cause of Blindness Globally, 2004
6. World Health Organization. Blindness and Vision Impairment Prevention, 2019
7. Blanco Rivera, M. C., Catarata en el Paciente Adulto; Guía Práctica Clínica Actualizada, 2008, vol. 1, p. 1-104
8. Urrutia Breton, I. P., Lima Gómez, V., Opacidad del Cristalino de Acuerdo al Sistema LOCS III en una Muestra Hospitalaria Mexicana, *Revista del Hospital de San Juan de México*, 2010, vol. 77 (nº 1), p. 43-49
9. Prokofyeva, E. Wegener, A., Zrenner, E., Cataract Prevalence and Prevention in Europe: a Literature Review, *Acta Ophthalmologica*, 2013, vol. 91, p. 395-405
10. Rojas H., N., Barahona, M., Alvarado, D., Alger, J., Catarata, una Causa Prevenible de Ceguera y las Líneas Prioritarias de Investigación en Oftalmología en Honduras, *Revista de Medicina de Honduras*, 2014, vol. 85 (nº 4), p. 160-163
11. Griñó García-Pardo, C., Lugo Quintás, F., León, M., Ligero, S., Ruiz Moreno, J. M., Montero Moreno, J., Tomografía de Coherencia Óptica (OCT). Funcionamiento y Utilidad en Patología Macular (I), *Gaceta Óptica*, 2008, nº 427, p. 12-14
12. Sánchez González, J. M., Tomografía de Coherencia Óptica. Técnicas Avanzadas en Aplicaciones Clínicas de la Fisiología Ocular, *Gaceta Óptica*, 2015, vol. 500
13. Romera Romero, P. Carbonell Puig, M., Moll Udina, A., Romanic Bubalo, N., Castellvi Manent, J., Utilidad de la Tomografía Óptica del Segmento Anterior (OCT-SA) en el Glaucoma, *Annals d'Oftalmologia*, 2015, vol. 23 (nº 4), p. 24-33
14. Díaz Águila, Y., Álvarez Cisneros, G., Ferrer Guerra, M. T., Obret Mendive, I., Fernández Argones, L., Piloto Díaz, I., Aplicaciones del SL-OCT en el Glaucoma, *Revista Cubana de Oftalmología*, 2012, vol. 25 (nº 1), p. 417-426
15. Grulkowski, I., Liu, J. J., Potsaid, B., Jayaraman, V., Lu, C. D., Jiang, J., Cable, A. E., Duker, J. S., Fujimoto, J. G., Retinal, Anterior Segment and Full Eye Imaging Using Ultrahigh Speed Swept Source OCT with Vertical-Cavity Surface Emitting Lasers, *Biomedical Optics Express*, 2012, vol. 3 (nº 11), p. 2733-2751
16. Cerviño, A., Montés-Micó, R., Ferrer, T., Tomografía Óptica de Coherencia (OCT) de Segmento Anterior, III Evaluación Clínica, p. 311-318
17. Drexler, W., Liu, M., Kumar, T., Kamali, T., Unterhuber, A., Leitgeb, R. A., Optical Coherence Tomography Today: Speed, Contrast and Multimodality, *Journal of Biomedical Optics*, 2014, vol. 19 (nº 7), p. 1-34

18. Grulkowski, I., Manzanera, S., Cwiklinski, L., Mompeán, J., De Castro, A., María Martín, J., Artal, P., Volumetric Macro- and Micro-Scale Assessment of Crystalline Lens Opacities in Cataract Patients Using Long-Depth-Range Swept-Source Optical coherence Tomography, *Biomedical Optics Express*, 2018, vol. 9 (nº8)
19. De Castro, A., Benito, A., Manzanera, S., Mompeán, J., Cañizares, B., Martínez, D., Marín, J. M., Grulkowski, I., Artal, P., Three-Dimensional Cataract Crystalline Lens Imaging With Swept-Source Optical coherence Tomography, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2018, vol. 59 (nº 2), p. 897-903
20. Wilson, M. E. MD, Trivedi, R. H. MD MSCR, Axial Length Measurement Techniques in Pediatric Eyes with Cataract, *Saudi Journal of Ophthalmology*, 2012, vol. 26, p. 13-17
21. Saucedo-Urdapilleta, R., González-Godínez, S., Mayorquín-Ruiz, M., Moragrega-Adame, E., Velasco-Barona, C., González-Salinas, R., Estudio Comparativo entre los Biómetros IOL Master 500 Versus IOL Master 700 en Pacientes con Catarata y Análisis de Repetitividad, *Revista Mexicana de Oftalmología*, 2019, vol. 93 (nº 3), p. 130-136
22. Bueno Gimero, I., Gené Sampedro, A., España Gregori, E., Valores de Normalidad en Parámetros Oculares en Niños Caucásicos Españoles, *Ciencia & Tecnología para la Salud visual y Ocular*, 2015, vol. 13 (nº 1), p. 137-152
23. Puell Marín, M. Cinta, *Óptica Fisiológica: El Sistema Óptico del Ojo y la Visión Binocular*, Universidad Complutense de Madrid, p. 10-24
24. [Internet] El ojo, Universidad de Canarias, p. 1-21 (<https://personales.unican.es/perezvr/pdf/LUZ%20Y%20VISION.pdf>)
25. García, B., De Juana, P., Hidalgo, F., Bermejo, T., Capítulo 15: Oftalmología, *Farmacia Hospitalaria*, p. 1227-1263
26. Irsch, K., Guyton, D., *Anatomy of Eyes*, Research Gate, 2014, p. 11-16
27. [Internet] Shea, C., *Anatomy and Physiology of the Eye*, BSM Consulting, 2012, p. 1-23
28. [Internet] Zhu, J., Del Río-Tsonis, K. *Eye Anatomy*, Research Gate, 2012, p. 1-9
29. [Internet] Archivo: Schematic Diagram of the Human Eye, Wikipedia. From: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Schematic_diagram_of_the_human_eye-es.svg
30. [Internet] Perez Vega, C., *Visión, Luz y Color*, Universidad de Cantabria, p. 1-39
31. Galvis Ramírez, V., Tello Hernández, A., Rueda Galvis, J. C., Parra Restrepo, J. C., Valarezo Macias, P., Álvarez Osorio, L., Glaucoma Primario Crónico para el Médico de Atención Primaria, *MedUNAB*, 2009, vol. 12, p. 114-150
32. Boyd Samuel, *Distrofias y degeneraciones corneales*, Jaypee-Highlights, 2012, p. 1-10
33. Villa César, Santodomingo Jacinto, *La Córnea Parte I: Estructura, Función y Anatomía Microscópica*, *Gaceta Óptica*, vol. 454, p.14-18
34. Santodomingo Jacinto, Villa César, *La Córnea Parte II: Cornea Central Frente a Córnea Periférica*, *Gaceta Óptica*, 2011, vol. 455
35. [Internet], *Cornea*, Laser my Eyes. From: <https://www.lasermeyeyes.com/cornea-burlington/>
36. Fernández, A., Moreno, J., Prósper, F., García, M., Echeveste, J., *Regeneración de la Superficie Ocular: Células Madre y Técnicas Reconstructivas*, 2008, vol. 31 (nº 1), p. 53-69
37. Giráldez-Fernández MJ, Díaz-Rey A, García-Resua C, Yebra-Pimentel-Vilar E, *Variaciones Diurnas de Espesor y Curvatura Corneal Central i Paracentral*, *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 2008, nº3, vol. (83), p. 183-192.
38. Feng, M. T. MD, Belin, M. W. MD, Renato Ambrosio, F. MD, Grewal, S. PS. MD, Yan, W. MD Phd, Shaheen, M. S. MD PhD, McGhee, C., MD PhD, Maeda, N. MD, Neuhann, T. H. MD, Burkhard Dickm H. MD PhD, Alageel, S. A. MD, Steimnueller, A., *Anterior Chamber Depth in Normal Subjects by Rotating Scheimpflug Imaging*, *Saudi Journal of Ophthalmology*, 2011, vol. 25, p. 255-259
39. Kai-Shun Leung, C., Li, H., Neal Weinreb, R., Liu, J., Yim Liu Cheung, C., Yiu Kwong Lai, R., Pui Pang, C., Shun Chiu Lam, D., *Anterior Chamber Angle Measurement With Anterior Segment Optical Coherence Tomography: A Comparison Between Slit Lamp OCT and Visante OCT*, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2008, vol. 49 (nº 49), p. 3469-3474

40. Benedí, J., Martín-Aragón, S., Glaucoma. Tratamiento Farmacológico, Ámbito Farmacéutico. Farmacoterapia, 2010, vol. 29 (nº 5), p.71-76
41. Sakata, L. M., MD PhD, Lavanya, R. DO, Friedman, D. S. MD, Aung, H. T. MMBS, Seah, S. K. FRCS, Foster P. J. PhD FRCS, Aung, T. MMBS PhD FRCS, Assessment of the Scleral Spur in Anterior Segment Optical Coherence Tomography Images, Clinical Sciences, 2008, vol. 126 (nº 2), p. 181-185
42. Cumba, R. J., Radhakrishnan, S., Bell, N. P., Nagi, K. S., Chuang, A. Z., Lin, S. C., Mankiewicz, K. A., Feldman, R. M., Reproducibility of Scleral Spur Identification and Angle Measurements Using Fourier Domain Anterior Segment Optical Coherence Tomography, Journal of Ophthalmology, 2020, vol. 2020, p. 1-14
43. Arredondo-flores, S., Castellanos, M. A., Ruiz-Quintero, N., Naranjo-Tackman, R., Reproducibilidad de la Medida del Ángulo Iridocorneal con el uso de Pentacam, Cámara Rotatoria tipo Scheimpflug, Revista Mexicana de Oftalmología, 2009, vol. 83 (nº 2), p. 106-109
44. Orta-Arellano, F., Muñoz-Rodríguez, P., Salinas-Gallegos, J. L., Measurement of Anterior Chamber Angle with Optical Coherence Tomography, The Mystery Of Glaucoma, 2011, p. 221-228
45. Michael, R., Bron, A. J., The Ageing Lens and Cataract: A Model of Normal and Pathological Ageing, Philosophical Transactions of the Royal Society, 2011, vol. 366, p. 1278-1292
46. Donaldson, P. J., Grey, A. C., Maceo Heilman, B., Lim, J. C., Vaghefi, E., The Physiological Optics of the Lens, Progress in Retinal and Eye Research, 2017, vol. 56, p. 1-24
47. Krishna Sharma, K., Santhoshkumar, P. Lens Aging: Effects of Crystallins, Biochim Biophys Acta., 2009, vol. 1790 (nº10), p.1095-1108
48. Naumann, G. O. H. Chapter 9. Lens, Patology of the Eye, 1986, p. 509-555
49. [Internet], Cristalino, Tecnología Médica en Oftalmología. From: <http://tecnologiamedicaoftalmo.blogspot.com/2017/03/cristalino.html>
50. Le Grand, Y., El Hage, S. G., Libro: Physiological Optics, p. 93-100
51. Ferrer Fernández, Y., Martínez Sánchez, G., Leroy Wright, D., Thndiew Chellah, N., El Estrés Oxidativo y su Impacto en las Cataratas, Revista Cubana de Farmacia, 2009, vol. 43 (nº 3), p. 1-11
52. [Internet], The Lens – Applied Anatomy and Embryology. From: <https://www.yumpu.com/en/document/view/11731639/the-lens-applied-anatomy-and-embryology>
53. Cataratas, Lo que usted Debe Saber, National Institutes of Health, 2020, p. 1-27
54. [Internet], Cataratas, Óptica Fischer. From: <https://opticafisher.com/grauer-star/>
55. Syed, R., Ramasubramanian, A., A Step Approach to Leukocoria, Eye Net Magazine, 2016, p. 35-38
56. Alemany Martorell, J., Villar Valdés, R., Oftalmología, 2003, p. 158-164
57. [Internet] Nuclear Cataracts, American Academy of Ophthalmology, From: <https://www.aao.org/bcscsnippetdetail.aspx?id=65f250db-712d-43c4-b452-d4559112ac47>
58. Fig. 2.8+2.9+2.10
59. [Internet] Cortical Cataracts, American Academy of Ophthalmology, From: <https://www.aao.org/BcscSnippetDetail.aspx?id=43e7b453-fe11-4eb9-bb0b-a59ba93ba944>
60. [Internet] Posterior Subcapsular Cataracts, American Academy of Ophthalmology, From: <https://www.aao.org/BcscSnippetDetail.aspx?id=238b2d6b-f33a-42fe-9237-2023ac37908d>
61. Chylack L. T., Wolfe, J. K., Singer, D. M., Leske, M. C., Bullimore, M. A., Bailey, I. L., Friend, J., McCarthy, D., Wu, S. Y., The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group, Archive of Ophthalmologic, 1993, vol. 111 (nº6), p. 831–836
62. [Internet], Catarata. From: <https://www.slideshare.net/scarletisbell/catarata-76813528>

63. Sridhar, M. S., Martín, R., Anterior Segment Optical Coherence Tomography for Evaluation of Cornea and Ocular Surface, *Indian Journal of Ophthalmology*, 2018, vol. 66 (nº 3), p. 367-372
64. Bille, J. F., High Resolution Imaging in Microscopy and Ophthalmology. *New Frontiers in Biomedical Optics*, 2019, p. 59-301
65. Chamorro Gutiérrez, E., Fundamentos Ópticos de la Tomografía de Coherencia Óptica (OCT), *Research Gate*, 2008, p. 593-597
66. [Internet], The Principates of Optical Coherence Tomography for Posterior Eye Imaging, VU Reseach Portal, p. 13-34, From: <https://research.vu.nl/ws/portalfiles/portal/42146308/chapter+2+--+Principles+of+OCT.pdf>
67. [Internet], Tomey, SS-100 Casia OCT, Tomey. From: <http://dfv.com.au/products/diagnostic/diagnostic-imaging/tomey-ss-1000-casia-oct/>
68. [Internet], OCT Anterior, Heidelberg Engineering. From: <https://business-lounge.heidelbergengineering.com/gb/en/products/anterior/anterior/>
69. Rodríguez-Aramendía, A., Díaz-Doutón, F., Fernández-Trullàs, J., Falgueras, P., González, L., Pujol, J., Grulkowski, I., Güell, J. L., Whole Anterior Segment and Retinal Swept Source OCT for Comprehensive Ocular Screening, p. 1-14 (article en revisió)
70. [Internet], OCT Spectralis, Heidelberg Engineering. From: <https://business-lounge.heidelbergengineering.com/us/en/products/spectralis/>
71. [Internet], OCT Cirrus, Zeiss. From: <https://www.zeiss.es/meditec/aplicaciones/oftalmologia-y-optometria/glaucoma/diagnostics/oct/cirrus-family/cirrus-hd-oct.html>
72. [Internet], DRI OCT Triton, Topcon. From: <https://www.topcon-medical.es/es/products/382-dri-oct-triton-oct-swept-source.html>
73. [Internet], Visante OCT. Anterior Segment Imaging & Biometry, Zeiss
74. Rio-San Cristobal, A., Martín, R., Morejon, A., Galarreta, D., Inter-Examiner Agreement of the AS-OCT Visante Corneal Thickness, *Journal of Optometry*, 2011, vol. 4 (nº 3), p. 95-102
75. [Internet], Zeiss Visante, Bimedis. From: <https://es.bimedis.com/zeiss-visante-m25447>
76. Akman, A., Asena, L., Gür Güngör, S., Evaluation and Comparison of the New Sewpt Source OCT-Based IOLMaster 700 with the IOLMaster 500, *British Journal of Ophthalmology*, 2016, vol. 100, p. 1201-1205
77. Ortiz, S., Pérez-Merino, P., Durán, S., Velasco-Ocana, M., Birkenfeld, J., De Castro, A., Jiménez-Alfaro, I., Marcos, S., Full OCT Anterior Segment Biometry: An Application in Cataract Suergy, *Biomedical Optics Express*, 2012, vol. 3, nº 4, p. 387-396
78. [Internet], IOL Master 700, Zeiss. From: <https://www.zeiss.es/meditec/product-portfolio/biometros-opticos/iolmaster-700.html>
79. [Internet], Tecnología de Vanguardia para la Cirugía de Cataratas, Clínica Rahhal. From: <https://www.rahhal.com/blog/tecnologia-cirugia-cataratas/>
80. [Internet], Labview, Wikipedia
81. [Internet], ImageJ, Wikipedia
82. [Internet], Matlab, Wikipedia
83. Eugui, P., Harper, D. J., Kummer, S., Lichtenegger, A., Gesperger, J., Himmel, T., Augustin, M., Merkle, C. W., Glösmann, M., Baumann, B., Thee-Dimensional Visualization of Opacifications in the Murine Crystalline Lens by In Vivo Optical Coherence Tomography, *Biomedical Optics Express*, 2020, vol. 11 (nº 4), p. 2085-2097
84. Sharma, R. MD, Sharma, A. BSc, Arora, T. MMBS, Sharma, S. MMBS, Sobti, A. MD, Jha, B. MMBS, Chaturvedi, N., MD, Dada, T., MD, Application of Anterior Segment Optical Coherence Tomography in Glaucoma, *Survey of Ophthalmology*, 2014, vol. 59, p. 311-327
85. Maslin, J. S., Barkana, Y., Dorairaj, S. K., Anterior Segment Imaging in glaucoma: An Updated Review, *Indian Journal of Ophthalmology*, 2015, vol. 63 (nº 8), p. 630-640

86. Wang Chund, C., Ang, M., Farook, M., Strouthdis, N. G., Mehta, J. S., Martial Mari, J., Girard, M. J. A., Enhancement of Corneal Visibility in Optical coherence Tomography Images with Corneal Opacification, *Translational Vision Science & Tecnology*, 2016, vol. 5 (nº 5), p. 1-14
87. Steinert, R. F., Huang, D., Anterior Segment Optical Coherence Tomography, 2008, p. 49-51
88. Baikoff, G., MD, Lutun, E., Wei, J., Ferraz, C., Contact Between 3 Phakic Intraocular Lens Models and Crystalline Lens: An Anterior Chamber Optical Coherence Tomography Study, *Journal Cataract of Refractive & Surgery*, 2004, vol. 30, p. 2007-2012
89. Beril Kucumsn, R. MD, Melda Yenerel, N. MD, Gorgun, E. MD, Nil Hulacoglu, D. MD, Asli Dinc, U. MD, Levent Alimgil, M. MD, Anterior Segment Optical Coherence Tomography Measurement of Anterior Chamber Depth and Angle Changes After Phacoemulsification and Intraocular Lens Implantation, *Journal Cataract of Refractive & Surgery*, 2008, vol. 34, p. 1694-1698
90. Khor, W. MRCSE, Perera, S. FRCOphth, Jap, A. FRCS, Ho, C., FRCSE, Hoh, S. FRCSE, Anterior Segment Imaging in the Management of PostOperative Fibrin Pupillary-Block Glaucoma, *Journal Cataract of Refractive & Surgery*, 2009, vol. 35, p. 1307-1312
91. Zheng, X., Sakai, H., Goto, T., Namiguchi, K., Mizoue, S., Shiraishi, A., Sawaguchi, S., Ohashi, Y., Anterior Segment Optical Coherence Tomography Analysis of Clinically Unilateral Pseudoexfoliation Syndrome: Evidence of Bilateral Involvement and Morphologic Factors Related to Asymmetry, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2011, vol. 52 (nº 8), p. 5679-5684
92. Mohammadpour, M., Khorrami-Nejad, M., Stop and Flip: A Simple and Safe Phacoemulsification Technique, *Clinical Optometry*, 2020, Vol. 12, p. 45-47
93. [Internet] What is a Posterior Capsulotomy?, American Academy of Ophthalmology, From: <https://www.aao.org/eye-health/treatments/what-is-posterior-capsulotomy>

Annex I - Full d'informació al pacient i consentiment informat

HOJA DE INFORMACIÓN AL PACIENTE Y CONSENTIMIENTO INFORMADO,

Modelo para pacientes con alteraciones o patologías de segmento anterior

Estudio del segmento anterior del ojo completo con un dispositivo de tomografía por coherencia óptica en pacientes que vayan a ser sometidos a cirugía de segmento anterior

Descripción

Usted está invitado a participar en un proyecto de investigación para comprobar la validez para uso clínico de un nuevo instrumento clínico. Dicho instrumento permite obtener imágenes detalladas del segmento anterior completo. La técnica empleada está basada en la generación más nueva de instrumentos OCT (tomografía por coherencia óptica).

Se realizarán medidas del segmento anterior del ojo con una OCT en estudio. Los componentes cuentan con marcado CE y la seguridad del instrumento para uso humano ha sido certificada. Para las medidas usted deberá apoyar su barbilla en la mentonera del instrumento fijando su vista en un test de fijación. Una vez el examinador ha alineado el instrumento con su ojo, se realizará la medida correspondiente. La duración de cada medida es de 1 minuto aproximadamente. Podrá parpadear normalmente. En ningún momento se realiza contacto con su ojo.

El objetivo es poder comparar las imágenes obtenidas del nuevo OCT con las imágenes de biometría (se realiza en la práctica habitual para cirugía de cristalino), OCT anterior Visante y HD Analyzer. Estas dos últimas pruebas no son indicadas en la práctica habitual, es por ello que le pedimos autorización para realizarle estas pruebas adicionales.

Para las medidas de biometría, OCT Visante y HD Analyzer deberá apoyar su barbilla en la mentonera de los instrumentos fijando su vista en el test de fijación. Una vez el examinador ha alineado el instrumento con su ojo, se realizará la medida correspondiente. La duración de cada medida es de 1 minuto aproximadamente. Podrá parpadear normalmente. En ningún momento se realiza contacto con su ojo. Estos equipos están comercializados y poseen todas las garantías de seguridad para el uso humano

Ninguna de las pruebas que le realicemos fuera de la práctica habitual le supondrán un gasto adicional, el proyecto correrá a cargo con los gastos de las pruebas de estudio

El participar en este estudio le tomará aproximadamente *10 minutos*.

Riesgos y beneficios

Las medidas no son invasivas (no existe contacto con su ojo) y no representan ningún riesgo. El material utilizado ha sido diseñado para cumplir con un muy amplio margen la normativa Europea en materia de seguridad. Los beneficios esperados de esta investigación son mejorar el diagnóstico de patologías del segmento anterior.

Derechos

Si ha leído este documento y ha decidido participar, por favor entienda que su participación es voluntaria y que usted tiene derecho a abstenerse de participar o retirarse del estudio en cualquier momento, sin ninguna penalización. Tiene derecho a no contestar alguna pregunta en particular. También tiene derecho a recibir una copia de este documento.

Confidencialidad

Su participación en este estudio será tratada con total confidencialidad según lo dispuesto en el reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016, relativo a la protección de las personas físicas en lo que respecta al tratamiento de datos personales y a la libre circulación de estos datos y por el que se deroga la Directiva 95/46/CE (Reglamento general de protección de datos*)

La cumplimentación y entrega de este documento implica su **consentimiento** para participar en este estudio.

Si tiene alguna pregunta o queja, por favor comuníquese con Dr. José Luis Güell / Laura González

Nombre del paciente

Firma

Fecha

He discutido el contenido de esta Hoja de Consentimiento con el arriba firmante. Le he explicado los riesgos y beneficios del estudio.

Nombre del investigador

Firma

Fecha

o persona designada

Annex II - Taula d'extracció de dades

Dades de l'estudi	
Títol de l'estudi	
Nom del promotor	
Investigador principal	

Dades del pacient			
Data de naixement		Codi del pacient	
Edat		Sexe	

Diagnòstic	UD	UE
Cataractes		
Altres patologies		
Comentaris		

Biòmetre IOL Master 700	UD	UE
Gruix corneal (CCT)		
Profunditat de cambra anterior (ACD)		
Gruix del cristal·lí (LT)		
Comentaris		

		OCT Visante		Prototip d'OCT	
		UD	UE	UD	UE
		ACD (mm)			
		CCT (µm)			
		LT (mm)			
		ACW (mm)			
SCLERAL SPUR NASAL (UD 0º / UE 180º)	AOD500 (mm)				
	AOD750 (mm)				
	TISA500 (mm2)				
	TISA750 (mm2)				
	SSA (º)				
SCLERAL SPUR TEMPORAL (UD 180º / UE 0º)	AOD500 (mm)				
	AOD750 (mm)				
	TISA500 (mm2)				
	TISA750 (mm2)				
	SSA (º)				
		Comentaris			

Annex III - Declaració de confidencialitat dels treballs acadèmics (TFG, TFM, etc.)

IDIOMA DEL TFM CATALÀ

Declaració de confidencialitat

En/Na Jaume Pujol, com a professor responsable de la direcció, coordinació i/o tutoria del treball acadèmic dipositat per l'estudiant José Luís Fernández Trullàs titulat "MESURA DE PARÀMETRES RELLEVANTS DEL SEGMENT ANTERIOR DE L'ULL MITJANÇANT UN NOU SISTEMA OCT", declaro que:

- el treball acadèmic **és confidencial** (segons les condicions detallades a continuació)
 el treball acadèmic **no és confidencial**

Període i motius de la confidencialitat

[Ompliu aquest apartat només si heu declarat que el treball és confidencial]

El sotassgnant declara que el treball acadèmic ha de ser confidencial pel període de temps indicat a continuació:

- fins a la data 31 de desembre de 2023
 la durada de la confidencialitat és **indefinida**

El sotassgnant declara que els motius d'aquesta confidencialitat són:

- es vol avaluar la possibilitat de protegir el treball
 un tercer manifesta interès en comercialitzar el treball
 forma part d'un treball de recerca amb una empresa que està subjecte a confidencialitat
 altres – publicació en una revista d'investigació

Difusió pública del treball confidencial

[Ompliu aquest apartat només si heu declarat que el treball és confidencial]

El sotassgnant autoritza la difusió del treball confidencial al dipòsit institucional a [UPCommons](#) o plataforma que el substitueixi sota aquestes condicions:

- difusió del **text complet del treball** a partir de la data d'embarquement indicada a l'apartat anterior (sempre i quan l'autor del treball autoritzi aquesta difusió)
 difusió única de les **dades bibliogràfiques** del treball (sense el text complet)
 la confidencialitat del treball no permet **cap difusió** del mateix

En cas que la confidencialitat del treball no permeti cap difusió del mateix, el Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la UPC, acollint-se a l'article 37.1 de la *Llei de Propietat Intel·lectual*, dipositarà en tancat el projecte a [UPCommons](#) (sense cap accés públic al text ni corresponents dades bibliogràfiques), garantint-ne així la seva confidencialitat, preservació i conservació.

Terrassa, 10 de juny de 2020

Signatura del professor director, coordinador i/o tutor:

En compliment del que estableixen la *Llei orgànica 15/1999, de 13 de desembre sobre protecció de dades de caràcter personal* i el *Reial Decret que aprova el Reglament de desenvolupament de la Llei Orgànica de Protecció de dades de caràcter personal*, us informem que les vostres dades personals recollides per mitjà d'aquesta autorització seran tractades i quedaran incorporades als fitxers de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) per dur a terme una gestió correcta de la prestació de serveis bibliotecaris. Tanmateix, us informem que podeu exercir els drets d'accés, rectificació, cancel·lació i oposició davant del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius, amb domicili a: Campus Nord UPC, edifici TG. C/Jordi Girona, 31. 08034 Barcelona, a l'adreça de correu electrònic: info.biblioteques@upc.edu.

Així mateix, consentiu de manera expressa que les vostres dades siguin cedides als estaments oficials públics oportuns i necessaris, i amb la finalitat de garantir la correcta prestació dels serveis autoritzats. Aquest consentiment podrà ser revocat en qualsvol moment.

Annex IV - Autorització per a la distribució de treballs acadèmics (TGF, TFM, etc.) a través del dipòsit institucional UPCommons

IDIOMA DEL TFM CATALÀ

1. Difusió pública del treball acadèmic

"Els titulars de la propietat intel·lectual dels treballs acadèmics dirigits o coordinats per professorat de la UPC són els estudiants autors del mateixos que, com a tals, són qui els poden reproduir, distribuir, comunicar públicament, transformar i/o cedir-ne els drets d'explotació a tercers." Propietat industrial i intel·lectual dels treballs acadèmics presentats a la UPC (TFG PFM, tesines, tesis doctorals, etc.)" de la web del Servei de Biblioteques: <http://publica.upc.edu/copyright/tfg>

En/Na José Luís Fernández Trullàs amb DNI núm _____ autor del treball acadèmic titulat "MESURA DE PARÀMETRES RELLEVANTS DEL SEGMENT ANTERIOR DE L'ULL MITJANÇANT UN NOU SISTEMA OCT",

AUTORITZO la comunicació pública de les dades bibliogràfiques i del text complet del treball en xarxa a través del dipòsit institucional [UPCommons](#) o plataforma que el substitueixi. Aquesta difusió només es portarà a terme sempre i quan el corresponent professor director, coordinador o tutor n'hagi descartat un tractament confidencial.
(Si es marca aquesta opció, és obligatori escollir una llicència Creative Commons -punt 2- i emplenar també, obligatòriament, el punt 3 de l'adreça de correu electrònic personal (que vol dir que l'adreça de correu electrònic es farà pública o no, juntament amb la resta de dades del TFC que si es faran públiques, per si alguna persona vol posar-se en contacte amb ell).

NO AUTORITZO la comunicació pública del text complet del treball, motiu pel qual el Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius de la UPC només difondrà a UPCommons les corresponents dades bibliogràfiques. Aquesta difusió només es portarà a terme sempre i quan el corresponent professor director, coordinador o tutor n'hagi descartat un tractament confidencial.
(Si es marca aquesta opció, el punt 2 s'ha de deixar en blanc, però sí ha d'omplir obligatòriament el punt 3 de l'adreça de correu electrònic personal, pel mateix motiu que en l'apartat anterior)

Si és confidencial, cal aportar la clàusula de confidencialitat.

2. Atorgament d'una llicència Creative Commons [ompli aquest apartat només si heu autoritzat la difusió del text complet del treball en xarxa]

El sotassinat autoritza la difusió del treball acadèmic:

- mitjançant la llicència CC "Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada" (by-nc-nd)
[permet reproduir, distribuir, comunicar públicament però no fer obres derivades (traduccions, etc.), sempre i quan s'esmenti l'autoria i no es facin usos comercials]
- mitjançant la llicència CC "Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual" (by-nc-sa)
[permet reproduir, distribuir, comunicar públicament i fer obres derivades (traduccions, etc.), sempre i quan s'esmenti l'autoria i no es facin usos comercials]
- sense aplicació de cap llicència CC
[les condicions d'ús del treball dipositat són únicament les permeses per la Llei de propietat intel·lectual (BOE núm. 97, de 22/4/1996)]

3. Difusió pública d'una adreça de correu electrònic

El sotassinant autoritza la difusió del registre bibliogràfic del seu treball:

- amb l'adreça de correu electrònic josefernandez.t@hotmail.com
[s'ofereix una adreça de contacte que permeti la futura comunicació entre l'autor i els investigadors, empresaris o altres possibles usuaris interessats en la seva obra]
- sense cap adreça de correu electrònic *[no s'ofereix cap adreça de contacte]*

En cap cas aquesta autorització implica una cessió en exclusiva dels drets d'explotació de l'autor/a sobre l'obra ni impedeix l'explotació normal de l'obra a través de les formes habituals.

La durada de l'autorització serà indefinida, excepte revocació expressa per part dels titulars dels drets i/o incompliment de qualsevol de les parts de les obligacions contingudes a la mateixa

L'autor/a declara que és el legítim propietari dels drets d'autor de l'obra que s'autoritza. Si el document inclou obres de les quals no n'és el propietari dels drets d'explotació (fotografies, dibuixos, textos, etc.), l'autor/a declara que ha obtingut el permís sense restricció del titular corresponent per atorgar la present autorització.

Terrassa, 10 de juny de 2020

Signatura de l'autor/a:

En compliment del que estableixen la Llei orgànica 15/1999, de 13 de desembre sobre protecció de dades de caràcter personal i el Reial Decret que aprova el Reglament de desenvolupament de la Llei Orgànica de Protecció de dades de caràcter personal, us informem que les vostres dades personals recollides per mitjà d'aquesta autorització seran tractades i quedaran incorporades als

fitxers de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) per dur a terme una gestió correcta de la prestació de serveis bibliotecaris. Tanmateix, us informem que podeu exercir els drets d'accés, rectificació, cancel·lació i oposició davant del Servei de Biblioteques, Publicacions i Arxius, amb domicili a: Campus Nord UPC, edifici TG. C/Jordi Girona, 31. 08034 Barcelona, a l'adreça de correu electrònic: info.biblioteques@upc.edu.

Així mateix, consentiu de manera expressa que les vostres dades siguin cedides als estaments oficials públics oportuns i necessaris, i amb la finalitat de garantir la correcta prestació dels serveis autoritzats. Aquest consentiment podrà ser revocat en qualsevol moment.