



## GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRIA

### TREBALL FINAL DE GRAU

---

# CAPSULOTOMIA LÀSER: EFECTE SOBRE LA REFRACCIÓ I LES ABERRACIONS OCULARS

**FAIZA CHOUDHRY MUHAMMAD**

**DIRECTOR: FIDEL VEGA LERÍN  
DEPARTAMENT DE ÒPTICA I OPTOMETRIA**

**DATA DE LECTURA: JUNY 2023**



## GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRIA

# CAPSULOTOMIA LÀSER: EFECTE SOBRE LA REFRACCIÓ I LES ABERRACIONS OCULARS

### RESUM

L'opacificació capsular posterior (OCP) és una de les principals causes de pèrdua de visió després de la cirurgia de cataractes, degut a una migració i proliferació de restes de cèl·lules epitelials. S'espera que entre el 20% i el 60% els pacients desenvolupen OCP entre els primers 2 a 5 anys després de la cirurgia. El tractament per aquesta complicació és la capsulotomia làser.

Tanmateix, el tractament amb làser comporta el risc d'afectar l'estabilitat posicional de la lent intraocular (LIO), afectant els resultats de la refracció i de les aberracions oculars. Aquest projecte es centra en la revisió bibliogràfica per obtenir evidència científica i avaluar si existeix la influència en aquests factors.

En diversos estudis, s'ha observat que la capsulotomia amb làser YAG no modifica l'estat de refracció dels ulls després del procediment. En termes de les aberracions oculars provoca una disminució significativa, i, per tant hi ha una millora en la qualitat visual. Cal destacar, que existeixen altres factors que poden influir en el procediment, com ara, el disseny i tipus de lents intraoculars, diàmetre pupil·lar i el temps de la intervenció quan es manifesta la OCP.

Gràcies als nous avenços en els dissenys, materials de lents intraoculars i millora en la intervenció quirúrgica aconseguixen que actualment la taxa d'incidència d'OCP hagi disminuït considerablement.



## GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRIA

# CAPSULOTOMIA LÀSER: EFECTE SOBRE LA REFRACCIÓ I LES ABERRACIONS OCULARS

### RESUMEN

La opacificació capsular posterior (OCP) es una de las principales causas de pèrdua de visió després de la cirurgia de catarates, debido a una migració y proliferació de restos de cèl·lules epiteliales. Se espera que entre el 20% y el 60% los pacientes desarrollen OCP entre los primeros 2 a 5 años després de la cirurgia. El tratamiento para esta complicación es la capsulotomía láser.

Sin embargo, el tratamiento con láser comporta el riesgo de afectar en la estabilidad posicional de la lente intraocular (LIO), afectando a los resultados de la refracción y de las aberraciones oculares. Este proyecto se centra en la revisión bibliográfica para obtener evidencia científica y evaluar si existe influencia en estos factores.

En varios estudios, se ha observado que la capsulotomía con láser YAG no modifica el estado de refracción de los ojos després del procedimiento. En términos de las aberraciones oculares provoca una disminución significativa, y, por tanto, hay una mejora en la calidad visual. Cabe destacar, que existen otros factores que pueden influir en el procedimiento, como el diseño y tipos de lentes intraoculares, diámetro pupilar y el tiempo de la intervención cuando se manifiesta la OCP.

Gracias a los nuevos avances en los diseños, materiales de lentes intraoculares y mejora en la intervención quirúrgica logran que actualmente la tasa de incidencia de OCP haya disminuido considerablemente.



## GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRIA

# CAPSULOTOMIA LÀSER: EFECTE SOBRE LA REFRACCIÓ I LES ABERRACIONS OCULARS

### ABSTRACT

Posterior capsular opacification (PCO) is one of the main causes of vision loss after cataract surgery, due to the migration and proliferation of epithelial cell. It is expected that between 20% and 60% of patients develop PCO in the first 2 to 5 years after surgery. Treatment for this complication is laser capsulotomy.

However, laser treatment carries the risk of affecting the positional stability of the intraocular lens (IOL), affecting refractive results and ocular aberrations. This project focuses on the bibliographic review to obtain scientific evidence and assess whether there is an influence on these factors.

In several studies, it has been observed that YAG laser capsulotomy does not change the refractive status of the eyes after the procedure. In terms of ocular aberrations, it causes a significant decrease, and therefore, there is an improvement in visual quality. It should be noted that there are other factors that can influence the procedure, such as the design and types of intraocular lenses, pupil diameter and the time of the intervention when the PCO manifests itself.

Thanks to the new advances in the designs, materials of intraocular lenses and improvement in surgical intervention, the incidence rate of PCO has currently decreased considerably.



## INDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	1
<b>2. CATARACTES</b> .....	2
<b>3. OPACIFICACIÓ DE LA CÀPSULA POSTERIOR</b> .....	2
<b>4. CAPSULOTOMIA LÀSER</b> .....	4
<b>5. LENTS INTRAOCULARS</b> .....	6
<b>6. ERROR REFRACTIU</b> .....	8
<b>7. ABERRACIONS OCULARS</b> .....	12
<b>8. OBJECTIUS</b> .....	16
<b>9. ESTUDI D'ARTICLES SOBRE EL EFECTE DE LA CAPSULOTOMIA LÀSER EN LA REFRACCIÓ I LES ABERRACIONS OCULARS</b> .....	17
9.1. REFRACCIÓ.....	17
9.2. ABERRACIONS OCULARS .....	19
9.3. DISSENY DE LENTS INTRAOCULARS.....	21
9.4. TIPUS DE MATERIAL .....	22
9.5. DIÀMETRE PUPIL·LAR.....	25
9.6. AVALUACIÓ DEL TEMPS D'INTERVENCIÓ.....	26
<b>10. CONCLUSIÓ</b> .....	27
<b>11. BIBLIOGRAFIA:</b> .....	28

## 1. INTRODUCCIÓ

L'ull és un òrgan sensorial sofisticat que ens permet captar i donar sentit a l'entorn visual que ens envolta. L'ull, que està format per molts components enllaçats, capta la llum, la dirigeix cap a la retina i envia informació visual al cervell per processar-la.

L'ull experimenta canvis fisiològics normals a mesura de l'edat, que poden tenir un impacte en el seu funcionament, com ara l'aparició de cataractes és un de les condicions més freqüents relacionats amb l'edat que afecten els ulls, ocorre quan el cristal·lí de l'ull es torna opaca. L'acumulació de proteïnes a l'interior de la lent provoca ennuvolament, i per tant, hi ha una pèrdua progressiva de transparència i pèrdua d'agudes visual. La cirurgia de cataractes és una manera eficaç de tractar aquesta condició. En aquesta, s'utilitza una lent intraocular (LIO) per substituir la lent ennuvolada.

Un dels problemes més freqüents després de la cirurgia de cataractes és l'opacificació capsular posterior (OCP), ja que provoca una pèrdua secundària de la visió. Cal remarcar que la OCP no es pot aturar ni revertir, encara que hi hagi avenços en medicaments, cirurgia i dissenys de lents intraoculars (LIO). En l'actualitat, els pacients amb OCP es tracten amb capsulotomia làser (Nd:YAG). No obstant això, hi ha riscos associats al tractament amb làser que poden afectar l'estabilitat de la posició de la LIO, i els efectes del tractament sobre la refracció i en les aberracions oculars.

Respecte a la motivació per aquest estudi és deu a que m'interessa aprendre i obtenir més coneixements sobre l'òptica i optometria clínica. Considero que aquest projecte era una excel·lent oportunitat per adquirir més coneixement sobre temes relacionats en aquest àmbit. A més, puc aprendre més sobre les perspectives dels pacients fent aquesta recerca. També un dels motius que m'intriga és que la majoria dels pacients s'operen de cataractes, però al cap d'uns anys tornen i informen que la seva vista s'ha deteriorat. Vaig decidir que m'agradaria tractar aquest tema, i saber què sorgeix després d'una capsulotomia làser i com pot influir en factors relacionats amb la vista.

Pel que fa l'objectiu d'aquest projecte és buscar en diferents fonts d'informació per obtenir proves científiques i determinar l'impacte de la capsulotomia làser en els pacients i com pot afectar la refracció i les aberracions oculars. En general, es concentra més en aquests temes, però a mesura que avança el treball, s'avalua si hi ha altres factors o valors que poden afectar aquest tractament.

En relació al projecte, aquest comença amb una base teòrica que descriu com es desenvolupa l'opacificació capsular posterior, quines són les aberracions i la refracció ocular i altres qüestions relacionades amb el làser de capsulotomia. A continuació, en la part de recerca, s'avaluen diferents articles de diversos anys i es discuteix els punts claus de cadascuna alhora que relaciona amb l'objectiu principal del projecte, és a dir, quins són els efectes del làser de

capsulotomia que comporta sobre les refraccions i l'aberració ocular. Per acabar, es recull tots els components necessaris per respondre els objectius principals d'aquest treball en la conclusió.

## 2. CATARACTES

Les cataractes és una condició ocular que es manifesta quan hi ha una pèrdua de transparència en la capsula anterior, el cristal·lí. Són unes de les principals causes més freqüents de la pèrdua de visió a nivell mundial<sup>1</sup>.

Existeixen diferent tipus de cataractes: per l'envelliment, cataractes congènites, cataractes secundaries a altres malalties o per traumatismes oculars. El tipus més comú de cataractes són les cataractes relacionades amb l'edat, que normalment es desenvolupen en persones majors de 60 anys.

El tractament més efectiu i comú per les cataractes és la cirurgia. Aquest procediment consisteix en l'eliminació del cristal·lí opac i es substitueix per una lent artificial, és a dir, lent intraoculars (LIO). Hi han diverses tècniques quirúrgiques per a l'eliminació de cataractes, com la facoemulsificació, l'extracció de cataractes extracapsulars i la cirurgia de làser. La facoemulsificació és la tècnica més utilitzada en la cirurgia moderna de cataractes, ja que implica una incisió més petita i un temps de recuperació més ràpid.

La cirurgia de cataractes es considera generalment segura i eficaç, amb una alta taxa d'èxit en la restauració de la visió<sup>2</sup>. Tanmateix, com amb qualsevol procediment quirúrgic, hi ha riscos i complicacions potencials<sup>3</sup>.

## 3. OPACIFICACIÓ DE LA CÀPSULA POSTERIOR

L'opacificació de la càpsula posterior (OCP) o segona cataracta, és una complicació freqüent que es dona després de la cirurgia de cataractes, es considera que és la principal causa de la pèrdua de visió després d'una intervenció. S'espera que entre el 20% i el 60% els pacients desenvolupen OCP entre els primer 2 a 5 anys després de la cirurgia<sup>4</sup>.

Aquesta condició és causat per la proliferació de restes cel·lulars del cristal·lí epitelial que es queden després de la cirurgia de cataractes en el sac capsular, i que acaben sobreposant-se amb l'eix visual. En la figura 1 es representa una demostració de com es dona aquesta condició, en la A es mostra la lent intraocular, la capsula anterior i posterior i les restes de cèl·lules. En la B es manifesta com aquestes restes cel·lulars entren al voltant de la LIO. Les cèl·lules epitelials a la zona equatorial de la lent proliferen a la càpsula posterior, això comporta que es formin



plecs, fibrosis, estries i contracció capsular. Després, les cèl·lules es transformen en miofibroblasts i produeixen les opacitats conegudes com a perles d'Elschening, anells de Soemmerring i arrugues capsulars. En la figura 2, es pot observar els diferents tipus de signes que es poden manifestar.

Segons l'estudi de Tomàs-Juan J.<sup>4</sup> on s'ha analitzat diferents estudis de diferents períodes de temps, la incidència d'aquesta complicació varia segons diferents factors i la població. Però hi ha una certa correlació amb pacients que són miops, tenen entre un 40 a 60% més de probabilitat de patir la patologia. I també en pacients diabètics hi ha una probabilitat significativament alta que es produeixi OCP després de la intervenció. Els nens que s'han sotmès a cirurgia de cataractes, poden esperar un risc de 100% de desenvolupar OCP. Això és degut que com més jove, menors de 40 anys, sigui el pacient les cèl·lules epitelials creixen 3 vegades més ràpid. Les malalties oculars preexistents, com ara la malaltia de l'ull sec i la uveïtis, poden augmentar el risc de desenvolupament de la OCP<sup>5</sup>.

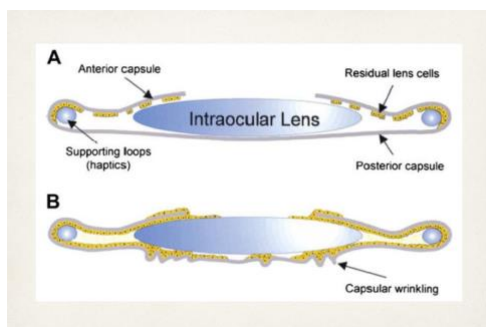


Figura 1. Representació gràfica de la proliferació de les cèl·lules cap a la capsula posterior de la lent.

(<https://josegutierrezamoros.es/clinica/wp-content/uploads/2015/08/pco.png>)

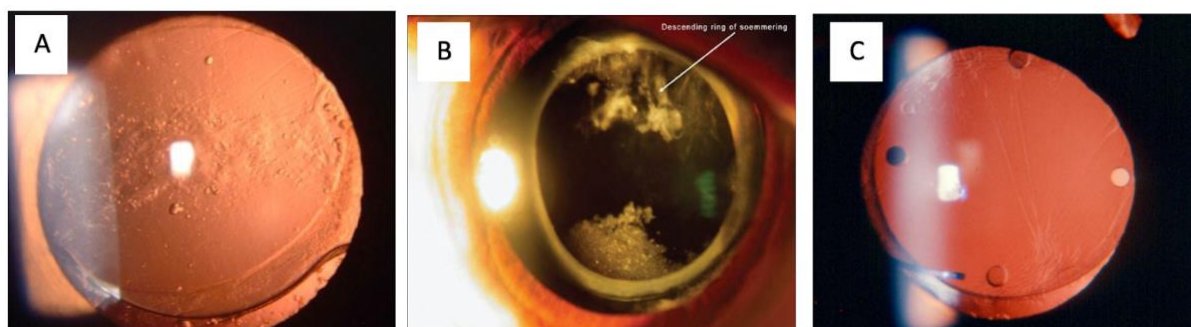


Figura 2. Representació de diferents signes de la opacificació de la capsula posterior. A – Perles d'Elschening, B – Anells de Soemmerring i C – Arrugues capsulars.

(A: [elscniqpearls003.jpg](#) B: [Slit-lamp-photograph-Descending-ring-of-Soemmerring-in-the-closed-capsular-bag-and.png](#) C: [892ed3e0-ab9c-4f21-b5b1-3ecfc227e0b6.jpg](#))



Uns dels principals factors de risc que contribueixen a la formació i així mateix els factors que es pot prevenir perquè es doni la OCP, poden ser els següents: els procediments quirúrgic, lents intraocular (disseny i material) i anells de la tensió capsular. Aquests punts es tractaran més detalladament en l'apartat de l'estudi d'articles sobre l'efecte de la capsulotomia làser en la refracció i les aberracions oculars.

Pot causar símptomes similars com el de cataractes, per exemple: disminució de l'agudes visual, enlluernament, disminució de sensibilitat de contrast i visió doble.

El diagnòstic clínic de la OCP es basa en l'historial mèdic del pacient i l'examen ocular amb làmpada de fenedura que són essencials. L'oftalmòleg i el optometrista utilitza l'observació subjectiva per avaluar la ubicació, densitat i el tipus d'opacitat que existeix. Ara existeixen diferents tècniques objectives per diagnosticar la OCP com la càmera de Scheimpflug i Tomografia de coherència òptica (OCT). A més es valora els símptomes que manifesta el pacient, que s'han mencionat anteriorment. La càmera de Scheimpflug és un instrument que fa una anàlisi completa del segment anterior, que inclou imatges de la superfície anterior i dades de la còrnia posterior i una anàlisi completa del gruix de la còrnia. I OCT és un instrument que permet visualitzar diverses estructures oculars en 3D a través d'un "escaneig" automàtic que proporciona informació rellevant per a la detecció i el seguiment de moltes malalties oculars.

El tractament per aquesta complicació és realitzar la capsulotomia mitjançant el làser YAG. Aquest és un làser no invasiu i indolor que s'utilitza en oftalmologia. En l'apartat següent és tracta més aquest tema.

#### 4. CAPSULOTOMIA LÀSER

La capsulotomia làser és un mètode efectiu que s'utilitza, per tractar la opacificació capsular posterior. És una de les complicacions més comuns després d'una cirurgia de cataractes. Com ja s'ha indicat anteriorment en l'apartat 3, és causat per la migració, proliferació i diferenciació de cèl·lules epitelials del cristal·lí<sup>6</sup>.

Com s'ha mencionat anteriorment el pacient quan pateix alguns dels símptomes relacionats amb l'opacificació de la càpsula posterior acudeix a la consulta i s'avalua els seus símptomes. Es fa mesura l'agudes visual i s'observa a través de la làmpada de fenedura els signes indicatius de la OCP. I a partir d'aquí, es poden fer més proves com la càmera de Scheimpflug i OCT per acabar completar el diagnòstic.

El làser Nd-YAG prové d'angles "*neodymium-doped yttrium aluminum garnet*", en català de granat d'itri i alumini dopat amb neodimi. És un tipus de làser d'estat sòlid, és a dir, el medi d'amplificació és sòlid cristall. El material del làser està dispers en una matriu sòlida, i esta

composat per 4 nivells d'energia. El mitjà de guany és el neodimi triplement ionitzat, Nd III que és un cristall. La longitud d'ona d'aquest làser és de 1064nm, longitud d'ona infraroja<sup>7</sup>.

El quocient entre la potència irradiada del làser i la potència de llum proporcionada es coneix com a eficiència òptica. Els sistemes bombats per díodes obtenen eficiències òptiques del 30-50%, mentre que els làsers YAG bombats per llum només arriben al voltant del 2-4%. A més, permeten més taxes de repetició (el nombre de polsos per segon) en forma polsant, de polsos variable.

L'energia es subministra òpticament, és a dir, el cristall Nd:YAG és il·luminat. Els ions de neodimi (Nd<sup>3+</sup>) s'exciten electrònicament. S'utilitzen com a fonts de bombament làmpades d'arc de criptó, làmpades halògenes, làmpades de flaix de xenó, díodes de llum o díodes làser.

El procediment per fer la capsulotomia làser es comença dilatant les pupil·les del pacient. Posteriorment, també s'apliquen gotes anestèsiques al ulls del pacient. S'utilitza el làser Nd:YAG per crear una obertura a la part posterior de la càpsula de la lent, que permet que la llum passi de nou i així millori la visió. Aquest procediment és no invasiu i es pot realitzar de manera ràpida. Tanmateix, la capsulotomia làser té un impacte sobre la quantitat i la qualitat de visió ja que influeix tant en la refracció com en les aberracions oculars.

La visió generalment millora al cap d'unes hores, en cas de no existir altres alteracions. És a dir, normalment es va millorant a les 24 hores posteriors al tractament, és un procediment gradual perquè als propers mesos s'anirà recuperant l'agudesia visual. Això es deu a que la capsula del cristal·lí es contrau per deixar pas a la llum a través de la pupil·la. També és freqüent que alguns pacients manifestin símptomes de miodesopsies, en dies posteriors al tractament es va desaparèixer<sup>8</sup>.

Alguns estudis han trobat que la capsulotomia làser pot augmentar les aberracions d'ordre superior i degradar la qualitat òptica de l'ull. Això pot afectar negativament la qualitat visual i causar problemes com ara enlluernament, halos i sensibilitat al contrast reduïda.

Les contraindicacions per la capsulotomia serien: opacitats corneals, cicatrius corneals, edema corneal, inflamació intraocular, patologies retinianes i/o maculars, s'ha de considerar la relació risc-benefici del procediment<sup>9</sup>.

A més, encara que la capsulotomia làser es considera generalment un procediment de baix risc, es poden produir complicacions<sup>10</sup>. Diversos estudis han mencionat que poden ser: augment de la pressió intraocular (PIO), glaucoma, danys a LIO, Luxació de la LIO, edema macular, hemorràgia de retina, iritis, prolapse vitri, lesió corneal, bloqueig pupil·lar, hifema, desprendiment de retina (DR), o exacerbació de l'endoftalmitis. Els pacients també poden experimentar molèsties, sequedat i visió borrosa immediatament després del procediment.

Aquest projecte consisteix en una revisió bibliogràfica per obtenir evidència científica i avaluar si la capsulotomia làser pot induir canvis en la refracció i les aberracions oculars i determinar la naturalesa i l'abast d'aquests canvis.

D'aquesta manera, com a optometristes puguem comprendre millor les complicacions relacionats amb les malalties oculars i com els hem d'abordar. En el nostre cas, no podem diagnosticar malalties, però sí que les podem prevenir. Per tant, és essencial adquirir experiència i comprendre com actuar a cada situació. Estic molt motivada a fer aquest treball perquè em brindarà una perspectiva diferent d'optometria, la clínica, que fins ara no he tingut. Puc obtenir una comprensió completa del impacte en l'agudesia visual i la qualitat visual general dels pacients sotmesos a una cirurgia de cataractes. Aquest projecte no només m'ajudarà a créixer acadèmicament i professionalment, sinó que també m'aportarà el coneixement i l'experiència necessaris per oferir la millor atenció possible a futurs pacients com a optometrista.

Les meves pràctiques de treball final de grau les vaig realitzar en una clínica oftalmològica, és del meu interès fer una comparació entre la meua experiència pròpia en aquest àmbit i els coneixements que he obtingut després de completar aquest treball, a través de l'evidència científica.

## 5. LENTS INTRAOCULARS

Les lents intraoculars (LIO) són lents artificials que s'implanten a l'ull per substituir el cristal·lí natural en pacients amb cataractes o altres trastorns de la visió. Aquestes lents estan dissenyades per millorar l'agudesia visual i corregir els errors de refracció, com ara la miopia, la hipermetropia i l'astigmatisme, i també la presbícia. La majoria de les lents intraoculars estan fetes de silicona, acrílic o altres plàstics. També estan recoberts d'un material especial que protegeix els ulls dels nocius raigs ultraviolats (UV) del sol.

Les LIO es poden classificar en diferents tipus, com lents monofocals, multifocals i tòriques<sup>11</sup>.

- **Monofocal:** Aquesta lent s'utilitza per corregir una distància o un únic rang de visió concret. Es pot configurar per enfocar a la distància de lluny, distància intermig o per la distància de visió de prop. Un dels avantatges que té aquest tipus de lent intraocular és que té un disseny asfèric, això proporciona bona sensibilitat al contrast i millor qualitat visual en diferents condicions de llum.

Generalment la gent que s'implanta aquest tipus de LIO, les configura per a la visió a distància i utilitzen ulleres de lectura per a tasques properes. A més es pot dur a terme el mètode, anomenat monovisió, consisteix en que la LIO monofocal col·locada en un ull es configura a distància de lluny i la LIO col·locada a l'altre ull es pot configurar per a prop.

- Tòriques: Aquesta lent serveix per corregir l'astigmatisme del pacient. Tenen el mateix mecanisme que les lents intraocular monofocals. En aquest cas, és molt important tenir en compte l'eix astigmàtic del pacient, degut a que un mal posicionament de lent pot provocar complicacions, per tant, s'ha de col·locar la LIO amb molta precisió. Per saber on s'ha de implantar es pot utilitzar diferents instruments com Pentacam on es pot indicar quin grau, tipus i eix de l'astigmatisme existeix. Les lents tòriques venen amb marcadors a les parts perifèriques de la lent, cosa que permet veure si s'ha corregit correctament i sinó quin gir s'ha produït.
- Multifocals: Aquestes lents té un mecanisme on es pot corregir dos o més distàncies de visió, és dir, és una lent que corregeix la presbícia. Es poden en classificar en trifocal o bifocal. La primera té l'objectiu de corregir tres distàncies (lluny, intermedi i prop). La segona només corregeix la distancia de lluny i de prop. Les diferents zones de potència de la lent treballen juntes per proporcionar visió simultània de prop i de lluny.

Un dels avantatge que té es que no hi haurà una relació de dependència amb les ulleres. Però un dels desavantatges que té és que les lents multifocals són les que produeixen més aberracions oculars, enlluernaments i halos. A més, les lents multifocals normalment s'han d'implantar als dos ulls, atès que pot haver-hi una compensació d'inestabilitat binocularment.

En alguns casos, els pacients que s'han sotmès a la cirurgia de cataractes i porten la lent intraocular, poden experimentar disminució de la visió, causat per l'enuvolament de la capsula posterior, és a dir, es dona el cas d'opacificació de la càpsula posterior (OCP). El desenvolupament de OCP pot disminuir molt l'eficàcia d'aquestes lents, creant la necessitat de fer la capsulotomia làser per restaurar la funció visual completa.

Per calcular la potencia de la lent intraocular que s'ha de implantar el pacient, es necessita mesurar la mida i la distancia que existeix entre les diferents estructures del globus ocular, amb un instrument anomenat Biòmetre. Amb les dades que ens dona, primàriament es valora el valor de la longitud axial i depèn d'aquest és calcula la potència de la lent intraocular.

A més de tractar la OCP, la capsulotomia làser també es pot utilitzar per a l'intercanvi o l'eliminació de LIO en els casos en què es requereixi l'extirpació quirúrgica de l'implant.

En general, les lents intraoculars i la capsulotomia làser tenen un paper important en el tractament de la reducció de la visió i la millora de la funció visual. Aquestes tècniques han millorat significativament els resultats dels pacients, permetent una recuperació més ràpida i una millora de l'agudesesa visual. El desenvolupament i la millora d'aquestes tecnologies continua millorant l'eficàcia de la cirurgia de cataractes.

En la figura 3, es fa referència a diferents tipus de lents intraoculars que es poden trobar. La LIO ReSTOR és una lent multifocal, la LIO Crystalens és una lent acomodativa, la Toric és pels pacients astigmàtics, i finalment, la Tecnis és una lent intraocular monofocal.

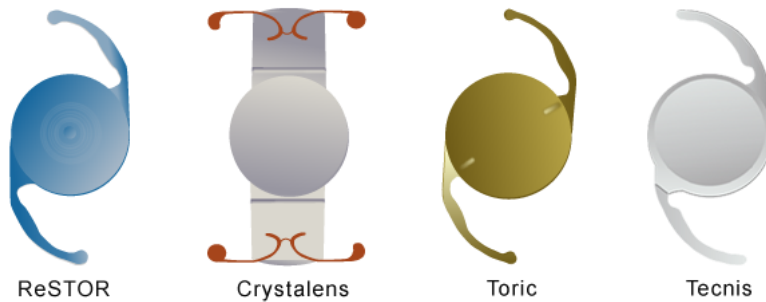


Figura 3 Lents intraoculars

<https://www.commonwealtheyecenter.com/wp-content/uploads/2016/11/iols-4.png>

## 6. ERROR REFRACTIU

La recerca d'aquest apartat s'ha basat en els apunts i els coneixement que s'han assolit al llarg del Grau d'òptica i optometria.

- **MIOPIA:** És un error refractiu en qual el rajos de llums procedents de l'infinit formen la imatge davant de la retina, és a dir, un punt focal anterior. Les causes poden ser longitud axial més llarg (o còrnia més corbada) que un ull normal (23,5-24 mm), potència de l'ull més elevada (>58D) o la relació entre la longitud axial i la potència no és la mateixa (Figura 4). El pacient que té aquesta ametropia presenta visió borrosa de lluny i, en visió propera veu nítidament.

L'etiologia d'aquesta defecte refractiu esta relacionat amb diversos factors com pot ser: l'herència, factors ambientals, edat, sexe, raça, treball a visió propera, dieta, etc.

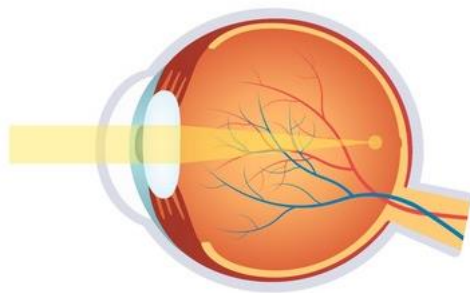


Figura 4. Ull miop

(<https://dittnandt9owm.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/12/Refractive-Errors-ccanstockphoto40484585.jpg>)

La incidència de la miopia augmenta cada cop més entre els nens i adolescents, un dels factors causants són: poca activitat a l'aire lliure, poca exposició a la llum natural, etc. Es preveu que al 2050 més del 50% de la població serà miop<sup>12</sup>.

Per classificar la miopia, es pot fer segons els graus de magnitud:

- Miopia baixa: des de -0,25D fins a -3,00D
- Miopia mitjà: des de -3,25D fins a -6,00D
- Miopia alta: superiors a -6,00D

També es pot classificar clínicament, ja que embarca diversos aspectes del comportament visual i dels símptomes del pacient:

- Miopia simple: és una miopia funcional, és el tipus de miopia més comú. No provoca l'aparició de patologies oculars associades, així mateix, l'agudesia visual correspon amb la prescripció de l'error refractiu.
- Miopia magna: o degenerativa, causat per un creixement excessiu (longitud axial excessiu) de l'ull. Associada amb alteracions d'estructures oculars. Amb el pas del temps, l'agudesia visual disminueix.
- Pseudomiopia: és causat per un petit espasme del múscle ciliar. En aquest cas, el subjecte es comporta visualment com un miop i també presenta els símptomes, però en realitat no té aquest error refractiu.

Avui en dia, hi ha diferents tipus de solucions per tractar la miopia: ulleres, lents de contacte, ortoqueratologia, LASIK i altres procediments cirurgia refractiva.

Per corregir aquest desenfocament, es prescriuen lents còncaues, divergents o negatives. Els rajos de llum que travessen la lent desvien cap a fora, és a dir, es produeix una imatge petita i virtual. La part central d'aquestes és més prima que la part perifèrica.

- **HIPERMETROPIA:** És l'error refractiu on els rajos procedents d'un objecte es formen la seva imatge per darrere de la retina, punt focal posterior (Figura 5). En aquesta condició la longitud axial de l'ull és curta o la lent o la còrnia és més pla que un ull normal. Un altre influent potser degut a que l'ull té poca potència o hi ha un error en la relació entre la longitud axial i potència.

Els factors de risc pot ser l'herència, diabetis, ceretes medicacions o tumors al voltant de l'ull. Pot ser patològica en certs casos a causa de les patologies del pol posterior que en determinen la longitud axial.

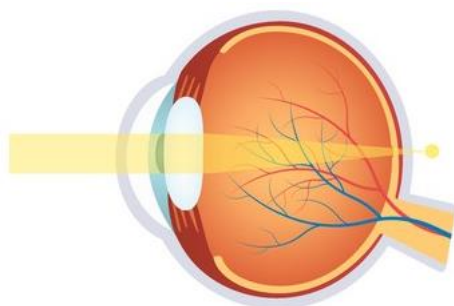


Figura 5. Ull hipermetrop

<https://dittnandt9owm.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/12/Refractive-Errors-ccanstockphoto40484585.jpg>

Per classificar la hipermetropia (HP), es pot fer segons els grau de magnitud:

- Baixa: entre +0,25D fins a +2,00D
- Mitjà: entre +2,25D fins a +5,00D
- Elevada: superiors a +5,00D

I es pot classificar segons la refracció:

- Total: és la magnitud total de la HP
- Manifesta: és el que el pacient accepta durant l'examen subjectiu
- Latent: és la que no apareix en la realització de l'examen subjectiu. És la part de la HP que alguns pacient no deixen compensar (és secundària a un espasme del múscul ciliar) amb les lents positives.

Els tractaments més utilitzar i eficaços són ulleres o lents de contacte. Es prescriuen lents convexes, convergents o positives, tenen una superfície de corba cap a fora. Això fa que els raigs de llum que passen es desvien cap a dintre, cosa que produeix una imatge més gran i real.



**ASTIGMATISME:** És la condició refractiva que té dos meridians principals, de màxima i mínima potència i perpendiculars entre si. En aquest, la imatge d'un objecte no es forma en un pla, perquè existeixen dos diferents meridians oculars amb diferents potències. Quan els raigs de llum travessen la còrnia, es formen dos focus o més, cosa que produeix una imatge distorsionada (Figura 6). En la zona entremig entre les dues focals, és on es dona la imatge de millor qualitat, i és el que es denomina cercle de mínima confusió (CMC).

Aquests es poden determinar mitjançant l'instrument, anomenat Queratometre, que ens pot indicar el tipus i la magnitud.

L'astigmatisme generalment està relacionat amb la miopia o la hipermetropia, és a dir, es donen conjuntament. Els pacient no veu els objectes definits i contrastes a totes les distàncies. Les causes poden ser hereditàries, generat després d'un procediment quirúrgic, queratocon, etc. Es pot corregir mitjançant lents de cilíndriques.

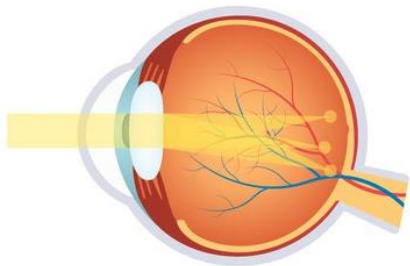


Figura 6. Ull astigmàtic.

<https://dittnandt9owm.cloudfront.net/wp-content/uploads/2017/12/Refractive-Errors-ccanstockphoto40484585.jpg>

Es pot dividir en dos components:

- Astigmatisme de la cara anterior de la còrnia: correspon a la magnitud i a l'eix de l'astigmatisme degut a la primera cara de la còrnia.
- Astigmatisme fisiològic intern: correspon a la magnitud i l'eix de l'astigmatisme degut a les estructures internes a l'ull.

Es pot classificar segons la regularitat de la superfície corneal:

- Regular: els meridians principals són perpendiculars entre si.
- Irregular: els meridians principals no són perpendiculars.

Segons la direcció dels meridians principals del astigmatisme en un ull:

- Astigmatisme directe o a favor de la regla: meridià horitzontal és més ple i és el de menor potència. L'eix del astigmatisme refractiu expressat en potència negativa i es troba a  $0^\circ - 180^\circ \pm 20^\circ$ .
- Astigmatisme invers o contra la regla: meridià vertical és el més ple i de menor potència. L'eix del astigmatisme refractiu expressat en potència negativa es troba a  $90^\circ \pm 20^\circ$ .
- Astigmatisme oblic: els meridians principals estan entre  $20^\circ$  i  $70^\circ$  graus i entre  $110^\circ$  i  $160^\circ$ .

Al llarg de la vida, l'astigmatisme va variant. Un percentatge important del recent nascut presenten astigmatisme invers i aquest gradualment es va disminuint. A l'edat escolar sol existir un astigmatisme directe i a partir dels 50-60 anys existeix un augment de l'astigmatisme invers.

Per corregir o compensar aquest defecte refractiu, hi ha diferents tipus de tractaments per ulleres, lents de contacte, ortoqueratologia, làser i altres procediments de cirurgia refractiva.

## 7. ABERRACIONS OCULARS

Les aberracions oculars són irregularitats o imperfeccions òptiques de l'ull, que provoquen que la llum que entra a la retina no s'enfoqui correctament, com a conseqüència, afecta a la imatge visual. Això es pot donar tant en ulls emmetrops com ametropies corregides correctament. Es pot definir com la diferència de distància òptica entre el front d'ona distorsionat i el front d'ona ideal<sup>13</sup>.

Es representa en un mapa bidimensional de nivells de gris o de color on cada nivell representa la quantitat d'aberracions d'ona expressada en micròmetres o en nombre de longituds d'ona. Tot i que s'han identificat més de 65 aberracions totals fins al vuitè ordre, en l'ull humà, només les aberracions de dins a 5 o 6 graus són significatives en termes de produir una reducció de la qualitat visual.

Es poden classificar de la següent manera:

- Aberracions òptiques cromàtiques: és deu a l'índex del material i la longitud d'ona de la llum, causada per la dispersió. Es defineix com a distorsió òptica degut a que no es pot enfocar tot els colors en un pla focal quan travessen per la lent. I es pot dividir en dos parts:
  - Aberració cromàtica axial o longitudinal: es produeix quan les ones de color convergeixen abans o després del pla focal. Es degut a que tenen diferents cada color té un punt focal diferent. Com a conseqüència apareixen halos del colors primaris: vermell, verd, blau o una combinació del tres.
  - Aberració cromàtica lateral o transversal: aquest es produeix quan diferents longitud d'ona de la llum s'amplien en diferents graus, és a dir, si que coincideixen en el mateix pla focal però no es troben en el mateix punt.
- Aberracions òptiques monocromàtiques: aquest tipus d'aberracions són causades per la geometria de les lents. És causada per raigs de llum no paraxials. Es manifesten com disminuint la sensibilitat ocular i redueixen les freqüències espacials visual<sup>14</sup>. aquestes aberracions es divideixen en aberracions constants, aberracions d'ordre baix i aberracions d'ordre superior:

- Aberracions constants: són les aberracions d'ordre zero i un. Aquestes normalment no es tenen en compte perquè és una aberració que influeix en la posició de la imatge puntual, i no en la qualitat visual.
  - Piston: pertany en la primera posició de la piràmide de les aberracions. En la figura 7 i 8, es posa d'exemple.
  - Tilt: és la inclinació vertical o horitzontal
- Aberracions d'ordre baix: s'inclouen miopia, hipermetropia, astigmatisme i presbícia. Constitueixen al voltant del 85% de totes les aberracions d'un ull<sup>15</sup>.
  - Desenfocament: es dona principalment perquè el poder diòptric i el poder acomodatiu no són els mateixos, això potser degut als músculs oculomotors, longitud axial o la falta d'elasticitat del cristal·lí. La imatge d'un objecte s'enfoca endavant o darrere de la retina. Es pot corregir amb lents oftàlmiques positives o negatives.
  - Astigmatisme: és l'error refractiu que té els dos meridians perpendiculars tenen diferent curvatura de l'ull, de manera que les imatges s'enfoca en dos plans diferents. També es pot corregir amb lents oftàlmiques.
- Aberracions d'ordre alt: aquests tipus d'aberracions òptiques són més complexes que les aberracions d'ordre baix. Es pot definir com distorsió adquirida per un front d'ona de llum quan travessa un ull amb irregularitats dels seus components refractius. Tenen un major impacte en la qualitat visual, i no es poden compensar amb la correcció d'òptica oftàlmica convencional : ulleres o lents de contacte. Aquests tipus d'aberracions poden ser congènits o es poden ser causat per algun traumatisme o malalties. Aquests es manifesten més aviat quan el diàmetre pupil·lar es gran, per exemple per la nit, afectant la visió nocturna; els símptomes que poden presentar són: enlluernaments, halos, visió borrosa o doble, problemes per veure'n els detalls i contorns<sup>16</sup>. Constitueixen al voltant del 15% del nombre total d'aberracions d'un ull.

Qualsevol condició que afecta òpticament als medis oculars dels ulls, pot provocar les aberracions oculars. Les principals causes poden ser: una pel·lícula lacrimal inestable i qualsevol factor que provoqui distorsió de la còrnia, com pot ser: queratocon, pterigi, distròfies corneals, inflamació o infecció corneal, cicatrius, cirurgia refractiva, cataractes i implants de lents. També hi han estudis que revelen que les condicions que infereix en la irregularitat de la retina pot crear les aberracions.

- Aberració Coma: pertany al tercer ordre, és causa a que el punt en la retina té forma de cometa. Es forma quan hi ha desalineació dels centres de la pupil·la, la còrnia i el cristal·lí. aquest causa símptomes com els de visió doble, halos, enlluernament i dificultat per percebre les formes amb nitidesa. S'ha vist que la presència d'aquest tipus d'aberració coma es relaciona amb malalties progressives de l'ull corneal, com el queratocon<sup>17</sup>.
- Aberració Trefoil: és un altre aberració de tercer ordre. Aquest es coneix com l'astigmatisme triangle, de tres eixos. Causa enlluernament i halos al voltant dels objectes.
- Aberració Esfèrica: correspon al quart ordre d'aberració. Aquest tipus impedeix que els raigs de llum perifèrics enfoquin a la retina quan els raigs paraxials sí que estan enfocats i viceversa, ocasionant visió borrosa i halos. És més evident en condicions de poca llum. La miosi pupil·lar pot provocar una disminució dels efectes de l'aberració esfèrica, ja que menys anells lenticulars perifèrics estan exposats a la llum incident, per això, aquest tipus de distorsions donen més símptomes a la nit (quan la pupil·la esta més dilatada, midriàtica).

Com s'ha comentat, alguns d'ells tenen noms com coma, trefoil i aberració esfèrica, però en general s'identifiquen per expressions matemàtiques (polinomis de Zernike). En la figura 7, es demostra els polinomis de Zernike que és una manera de representar els tipus d'aberracions. Es deriven convertint matemàticament l'error del front d'ona creat per una aberració específica i transformant-lo en un model tridimensional que imita la forma de l'aberració.

A més hi ha aberracions de cinquè ordre i de sisè ordre però solen ser clínicament menys significatius.

En la figura 8, es representa en una piràmide les diferents formes d'aberracions creades quan un front d'ona travessa els ulls. La primera forma es diu Piston, és un representació d'un ull teòricament perfecte, sense aberracions. Les següents files es fa la demostracions de cada tipus d'ordre, en aquesta figura s'observa 5 tipus d'ordre d'aberracions.

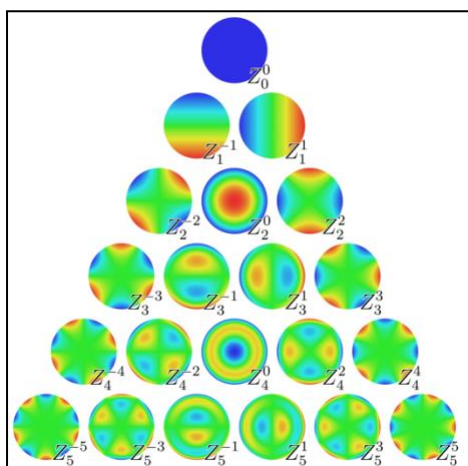


Figura 7. Representació de diferents tipus d'aberracions en polinomis de Zernike, ordenats verticalment per grau radial i horitzontalment per grau azimuthal.

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3d/Zernike\\_polynomials2.png/300px-Zernike\\_polynomials2.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3d/Zernike_polynomials2.png/300px-Zernike_polynomials2.png)

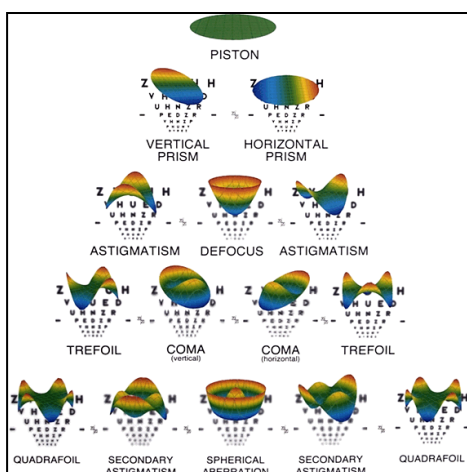


Figura 8. Representació de diferents tipus d'aberracions oculars.

<https://images.ctfassets.net/u4vv676b8z52/20Wu63X0CFLmqjJI7MGRYa/11d00b097a6affbbda9ec3f21b6de335/aberrations-poster-565x566.qif.>

Aquests tipus d'aberracions es poden mesurar utilitzant l'aberròmetre, un aparell que crea un mapa detallat de les aberracions del ull complet i també mapes separades de les lentes del ull (p.e, en un ull pseudofàquic còrnia i LIO), recollint-ne totes les imperfeccions, per després corregir-les mitjançant diferents tècniques como la cirurgia làser guiada per aberrometria.

El mètode més comú i més utilitzar és el de Shack-Hartmann, però hi ha diversos tipus d'aberrometres: traçats de raigs, Tscherning, refractòmetre espacialment resolt, etc. Tots es basen en un únic objectiu que és mesurar la desviació del front d'ona en ser percebut pel sistema òptic de l'ull respecte a un front d'ona ideal. També es poden adaptar diferents instruments com topògraf corneal, per mesurar les aberracions òptiques de la còrnia<sup>18</sup>.

## 8. OBJECTIUS

Els objectius del meu treball final de grau sobre la capsulotomia làser i els seus efectes sobre la refracció i les aberracions oculars, es centra en revisió bibliogràfica per obtenir evidència científica i avaluar si existeix la influència en aquests factors.

Primer vull analitzar els canvis de refracció que es produeixen després del procediment. Com afecta a les potències òptiques de l'ull, si en el component esfèric més i en el component cilíndric més, o viceversa o es aquests valors es queden iguals.

En segon lloc, vull avaluar com el làser de capsulotomia afecta les aberracions oculars. Si hi ha una relació entre la capsulotomia i les aberracions, si només es veure alterades un tipus o poden ser varies. A més com tots els factors influeixen a l'agudesia visual i a la sensibilitat ocular.

Finalment, també tractar diferents elements que poden influir a l'hora de fer la capsulotomia làser. Com per exemple: disseny de les lents intraoculars, tipus de material, avaluació del temps d'intervenció i diàmetre pupil·lar.

Amb l'assoliment d'aquests objectius, espero fer una contribució significativa personal, ampliant el meu coneixements d'òptica i optometria.

## 9. ESTUDI D'ARTICLES SOBRE EL EFECTE DE LA CAPSULOTOMIA LÀSER EN LA REFRACCIÓ I LES ABERRACIONS OCULARS

### 9.1. REFRACCIÓ

Per investigar l'objectiu d'aquest projecte s'analitzarà diferents articles de diferents període de temps. Principalment es buscarà quins efectes provoca la capsulotomia làser als factors com la refracció i les aberracions oculars, però també m'agradaria destacar diferents elements que també poden influir.

L'article de C.N. Chua<sup>19</sup> l'objectiu de la seva investigació era l'efecte de la capsulotomia amb làser de Nd: YAG en els canvis de refracció i si hi ha post-refracció. El seu estudi van revelar que hi ha un canvi de posició de la lent intraocular, les lents de material PMMA tendeixen a fer una inclinació cap enrere que provoca un canvi hipermetrop. Aquest desplaçament és més pronunciat en el disseny de la lent de placa-hàptica que el d'una peça. També conclouen que hi ha una relació de canvi amb la mida d'incisió en la capsulotomia, com més gran sigui més gran serà el moviment, i tindrà el desplaçament hipermetrop. En el seu estudi no han trobat cap canvi significatiu en termes de refracció. Si que han pogut comprovar que aquest procediment millora l'agudesa visual i els pacient no necessiten fer nova prescripció després de la capsulotomia per garantir un resultat visual òptim.

L'estudi de T.H. Wakamatsu 2011<sup>20</sup> amb l'experiment també han comprovat que no només millora l'agudesa visual amb la capsulotomia, sinó que la sensibilitat de contrast també. Fins i tot valoren que la prova de sensibilitat de contrast en principis estadis de opacificació capsular posterior dona més informació que una prova d'agudesa visual.

Per altre costat, destaca altres estudis com el de Oshika et al.<sup>21</sup> que van trobar que les aberracions d'ordre 4 que són els d'aberracions esfèriques disminueix un 10% en els pacients post-capsulotomia, que tenen un diàmetre pupil·lar igual o major de 4 mm. En l'estudi també han trobat una millora d'aberracions tant en les aberracions esfèriques i en les aberracions d'ordre superior, que els resultats es van correlacionar significament amb l'agudesa visual.

En la taula 1, es mostra quina magnitud de canvi s'ha obtingut en pacients que s'ha sotmès a aquesta intervenció. Es mostren els valors obtinguts d'abans (pre) i després (post) de la capsulotomia per cada aberracions.

Es representa els valors de les aberracions que es vol estudiar (S3 = Aberració Coma, S4 = Aberració esfèrica, HOA = aberracions d'ordre alt i Z12 = coeficient Zernike). El diàmetre mitjà de la pupil·la natural durant les mesures del front d'ona és de  $3,2 \pm 0,3$  mm (rang de 3,0 a 4,0 mm) abans de la capsulotomia i de  $3,1 \pm 0,1$  mm (rang de 3,0 a 3,4 mm) després de la capsulotomia.

Hi ha una millora de l'aberració HOA i S4 després de la capsulotomia és estadísticament significativa. La millora en S3 i en Z12 no és tant estadísticament significatiu.



**Table 2.** Change in ocular HOAs.

Aberration	Mean RMS ( $\mu\text{m}$ ) $\pm$ SD		P Value
	Pre Capsulotomy	Post Capsulotomy	
S3	0.1599 $\pm$ 0.0856	0.1282 $\pm$ 0.0624	.0801
S4	0.0952 $\pm$ 0.0537	0.0571 $\pm$ 0.0378	.0273*
HOA	0.1931 $\pm$ 0.0908	0.1335 $\pm$ 0.0771	.0137*
Z12	0.0214 $\pm$ 0.0373	0.0232 $\pm$ 0.0206	.5000

HOA = higher-order aberration; S3 = 3rd Zernike coefficient (coma like); S4 = 4th Zernike coefficient (spherical like); Z12 = 12th Zernike coefficient  
\* $P < .05$ , Wilcoxon matched-pairs signed-ranks test

Taula 1. Canvis en les aberracions oculars. Tret la referència de l'article de T.H. Wakamatsu<sup>20</sup>

L'estudi de V. Vrijman 2012<sup>22</sup>, és el primer estudi que investiga si existeix una correlació entre la refracció objectiva i subjectiva. I també quin canvi refractiu es pot donar en els pacients que porten lents intraoculars multifocals. La incidència de tenir la complicació de opacificació capsular posterior (OCP) és més gran en pacient que porten lents intraoculars multifocals que els pacient que porten lents intraoculars monofocals<sup>19</sup>. Com els altres estudis troben millora en l'agudesia visual, tant sense correcció i amb correcció (Taula 2) El 93% de 75 ulls que s'han analitzat no han donat cap canvi en la refracció. I un 7% han experimentat un canvi en la refracció, un canvi de més de 0,50D. Segons l'estudi, aquest resultat pot ser degut a un canvi de posició de la lent intraocular i la magnitud i el sentit de moviment de la de la lent intraocular no es pot predir.

TABLE 1

**Uncorrected and Corrected Distance Visual Acuity in Eyes Before and After Nd:YAG Laser Capsulotomy**

	Before Nd:YAG	After Nd:YAG	No. of Eyes	P Value
UDVA (logMAR)	0.24 $\pm$ 0.15	0.16 $\pm$ 0.15	73	<.001
CDVA (logMAR)	0.08 $\pm$ 0.08	0.01 $\pm$ 0.07	55	<.001

UDVA = uncorrected distance visual acuity, CDVA = corrected distance visual acuity

Taula 2. Resultats d'agudesia visual amb correcció i sense correcció, abans i després de la capsulotomia.

Tret la referència de l'article de Vrijman, Violette et al<sup>22</sup>.

En la Taula 2 es mostra el canvi en l'agudesia visual que han obtingut ens els pacients després de la capsulotomia làser. Hi ha millora tant de l'UDVA, que és l'agudesia visual de lluny sense correcció, i també en la CDVA, que és l'agudesia visual de lluny amb correcció ( $P < .001$ .)

Comparant amb altres estudis de C.N. CHUA<sup>19</sup> i FINDL et al.<sup>23</sup>, que han trobat un canvi de direcció de la lent intraocular a un moviment hipermetrop, en canvi, en aquest estudi han observat un petit canvi miopic tant en la refracció subjectiva com en l'autorefracció. Però coincideixen que amb un augment de la profunditat de la cambra anterior s'espera un canvi hipermetrop en la refracció.

Aquest estudi conclou que com més emmetrop sigui la refracció, i com millor sigui l'agudesa visual tant corregida com no corregida, el resultat serà crucial per la satisfacció dels pacient. En relació, si hi ha diferències entre la refracció subjectiva i objectiva, no han trobat canvis, excepte en l'equivalent esfèric en la refracció objectiva. L'autorefractòmetre pot predir la refracció subjectiva, però que no s'ha de dependrà d'aquest instrument perquè pot donar errors fins a 1D.

Un estudi recent de Tan, Yuan et al.<sup>24</sup>, suggereix encara que la refracció ocular s'ha mantingut estable per als ulls pseudofàquics sotmesos a capsulotomia làser Nd: YAG, la implantació de LIO multifocals com cada cop és més popular i aquests són més sensibles als canvis en la posició de les lents intraocular, s'ha d'investigar més si la capsulotomia làser provoca canvis en la inclinació i el descentrament de les lents intraoculars multifocals.

## 9.2. ABERRACIONS OCULARS

L'estudi de J.N. LEVY 2009<sup>25</sup>, consisteix en avaluar l'efecte de la capsulotomia posterior làser sobre les aberracions del front d'ona ocular amb un aberròmetre. Consisteix en fer les mesures abans i després d'un mes de la capsulotomia làser.

Segons la taula 3, abans del tractament, l'aberració total del front d'ona RMS d'ordre superior era de 2,08 (SD 2,20) µm. Després de la capsulotomia làser, el valor RMS de cada aberració del front d'ona va disminuir significativament 1,41 (SD 1,35) µm. Les aberracions d'ordre inferior també van disminuir significativament;  $p < 0.05$ , excepte el tetrafoil que abans del procediment era de 0,78 (SD 1,13) µm i després del procediment 0,47 (0,48) µm;  $p=0,064$ .

	Wave front aberrations							Refraction			Visual acuity (logMAR)
	Total	Tilt S1	High	T coma	T trefoil	T tetrafoil	T sphere	High astig	Sphere	Cylinder	
Pre (SD)	4.29 (2.62)	1.70 (1.17)	2.08 (2.20)	0.82 (0.79)	1.19 (1.15)	0.78 (1.13)	0.43 (0.52)	0.62 (0.95)	-1.21 (1.41)	-1.95 (1.92)	0.64 (0.31)
Post (SD)	3.48 (2.10)	1.11 (0.59)	1.41 (1.35)	0.57 (0.53)	0.82 (1.06)	0.47 (0.48)	0.23 (0.27)	0.29 (0.33)	-1.04 (1.64)	-1.89 (2.23)	0.28 (0.15)
p value	0.015	0.003	0.017	0.010	0.019	0.064	0.020	0.020	0.261	0.328	0.000

Note: T, total; astig, astigmatism.

Taula 3. Valors de les aberracions de la front d'ona, refracció i agudesa visual abans i després de la capsulotomia posterior amb làser Nd:YAG.

Tret la referència de l'article de Levy J et al<sup>25</sup>.

En termes d'agudesesa visual també troben que hi ha una millora després del tractament. Abans de la capsulotomia làser Nd: YAG, l'agudesesa visual era de 0,64 (SD 0,31) logMAR i després del procediment, (0,28 [SD 0,15] log-MAR,  $p < 0,000$ ).

Però no troben cap diferència estadísticament significativa en la refracció, la potència esfèrica o cilíndrica després del procediment ( $p = 0,261$  i  $p = 0,328$ , respectivament).

A més, van avaluar la repetibilitat dels mesuraments d'aberracions de front d'ona abans i després d'un mes del procediment, no van trobar canvis significatius en les mesures d'aberracions.

Aquest estudi també destaca que diferents aberròmetres poden canviar els resultats de les aberracions. Compara un model d'aberròmetre Nidek (OPD) amb un aberròmetre Hartmann-Shack, en el segon s'obtenen aberracions més altes després de la capsulotomia que en el instrument del seu estudi. Han arribat a la conclusió que els resultats són diferents perquè l'estudi on s'ha fet les mesures de Hartmann-Shack, es va dur a terme en fases molt avançades de l'OCP, i en l'actual es van comparar les aberracions en el mateix ull pseudofàquic amb OCP abans i després de la capsulotomia. I mesuraments d'aberracions d'alt ordre fets mitjançant l'escaneig OPD i el mètode de Hartmann-Shack no són comparables.

En un altre estudi de E. CINAR et al 2020<sup>26</sup>, comparen entre les lents intraocular monofocals i multifocals, quin tipus d'aberracions oculars poden tenir lloc. Indica que la capsulotomia làser realitzada a causa de la OCP millora l'agudesesa visual alhora que disminueix les aberracions totals i d'ordre superior i contribueix a millorar la visió de manera similar en pacients implantats amb LIO multifocals i monofocals. No van observar diferències significatives en els valors inicials de RMS ( $0,863 \pm 0,27$  vs  $0,862 \pm 0,31$ ) o aberracions d'ordre superior ( $0,546 \pm 0,23$  vs  $0,500 \pm 0,21$ ) amb diàmetre pupil·lar de 6 mm.

L'anàlisi dels canvis en l'aberració en les lents monofocal després de la capsulotomia va mostrar disminucions significatives en RMS i aberracions d'ordre superior (HOA), però no hi ha canvis significatius en les aberracions de quart ordre (S4). De la mateixa manera, per les lents multifocals també es va observar reduccions en les aberracions RMS, HOA i aberracions de tercer ordre (S3, coma), mentre que no hi va haver canvis significatius en les aberracions S4. En els dos casos les aberracions S3 disminueixen, això es deu a que la quantitat d'inclinació de les LIO amb dissenys biconvexos i asfèrics desencadena aberracions semblants al coma més que amb les LIO esfèriques convencionals.

Aquest estudi conclou que resultats obtinguts indiquen que la capsulotomia làser Nd:YAG redueix les aberracions en la mateixa mesura, independentment del disseny (asfèric o esfèric), material i el tipus de la LIO multifocal o monofocal.

### 9.3. DISSENY DE LENTS INTRAOCULARS

L'estudi de T. MONTEIRO et al. 2018<sup>27</sup> avalua i compara les diferències que poden donar en la refracció i en el moviment de la lent intraocular entre el disseny d'una LIO plegable amb placa-hàptica i una LIO de bucle-c d'una sola peça. En la figura 9, hi ha un exemple de l'estructura de les lents intraoculars. La figura A representa la LIO de bucle-c i la figura B representa la LIO de placa hàptica.

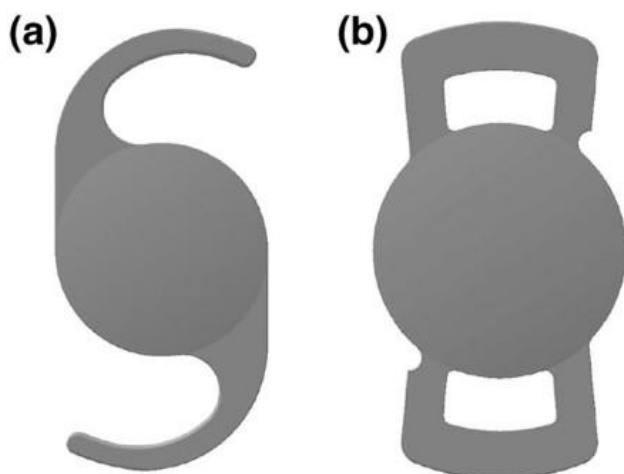


Figura 9. Estructures de les lents intraocular

[https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs10439-019-02432-9/MediaObjects/10439\\_2019\\_2432\\_Fig1\\_HTML.jpg](https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs10439-019-02432-9/MediaObjects/10439_2019_2432_Fig1_HTML.jpg)

De 110 ulls es va dividir en dos grups, als 55 ulls van ser sotmesos a una implantació de LIO hàptica de placa d'una sola peça (grup 1) i altres 55 ulls els hi va sotmetre una implantació de LIO de bucle-c d'una sola peça (grup 2).

En el taula 4, en el grup 1, s'ha observat un moviment anterior important de la LIO (de  $4,027 \pm 0,32$  mm a  $3,856 \pm 0,34$  mm) i al grup 2 (taula 5) s'ha observat un moviment cap enrere de l'implant (de  $4,03 \pm 0,37$  mm fins a  $4,14 \pm 0,45$  mm). No s'ha observat cap canvi refractiu significatiu a l'equivalent esfèric.

Parameters	Before capsulotomy	After 1 month	p-value
SE (D)	$-0.129 \pm 0.63$	$-0.249 \pm 0.49$	0.199
Sphere (D)	$0.088 \pm 0.61$	$-0.016 \pm 0.54$	0.248
Cylinder (D)	$-0.435 \pm 0.61$	$-0.467 \pm 0.53$	0.814
ACD (mm)	$4.027 \pm 0.32$	$3.856 \pm 0.34$	0.02

**Abbreviations:** ACD, anterior chamber depth; D, diopters; IOL, intraocular lens; SE, spherical equivalent; YAG, yttrium aluminum garnet.

Taula 4. Resultats del grup 1 (LIO placa-hàptica): abans i 1 mes després de la capsulotomia làser. La referència tret de l'article de T.Monteiro<sup>27</sup>.

Parameters	Before capsulotomy	After 1 month	p-value
SE (D)	-0.50±0.66	-0.50±0.71	0.963
Sphere (D)	0.25±0.60	0.14±0.65	0.311
Cylinder (D)	-1.53±0.60	-1.28±0.87	0.104
ACD (mm)	4.03±0.37	4.14±0.45	0.025

**Abbreviations:** ACD, anterior chamber depth; D, Diopters; IOL, intraocular lens; SE, spherical equivalent; YAG, yttrium aluminum garnet.

Taula 5. Resultats del grup 2 (LIO bucle-c): abans i 1 mes després de la capsulotomia làser  
La referència tret de l'article de T.Monteiro<sup>27</sup>.

És el primer estudi que demostra que segons el disseny de la lent intraocular hi ha un impacte en l'estabilitat en la LIO, i es manifesta un canvi de posició segons el tipus de lent que sigui. La LIO hàptica té tendència a moure anteriorment després de la capsulotomia, això es degut a que aquestes lents exerceixen una tensió major en la capsula, perquè hi ha 4 punts en contacte entre la LIO i la capsula, com a conseqüència, hi ha una tendència a desplaçament miop. En canvi, la LIO de bucle-C mostra un moviment posterior, això causa que es doni un desplaçament hipermetrop. Amb motiu de que, en aquest cas, hi ha 2 punts de contacte entre la LIO i la bossa capsular.

Malgrat que s'ha observat un canvi significatiu en la posició axial de la LIO després de la capsulotomia indueixen un canvi refractiu (esfera, cilindre i equivalent esfèric) menor que no és estadísticament ni clínicament significatiu.

#### 9.4. TIPUS DE MATERIAL

L'estudi A.F. Borkenstein et al 2020<sup>28</sup>, investiguen quin efecte i quantitat de dany pot causar el material de lents tipus hidròfils (contingut en aigua 26%) i hidròfobs (contingut en aigua <1.0%). Per l'experiment es va posar a prova 12 monofocals lents intraoculars, amb índex de refracció de 1,46, de material esfèric i una potencia de 21,5D. Es van analitzar i comparar mitjançant una anàlisi subjectiva d'imatges.

Després del tractament, observen que en materials hidrofòbics hi ha un dany major i intens, tant en mida i profunditat, que s'assembla a una picada amb vores afilades, davant del material hidròfils. El dany de l'estructura superficial d'aquest s'assembla més a forats perforats. La raó per resultats que han obtingut es pot donar pel diferent contingut d'aigua de les LIO hidròfiles i hidròfobes. Els materials amb menor contingut d'aigua poden ser més propensos a danyar-se per làser a causa de la seva rigidesa.

En la figura 10, es mostren imatges fetes a través d'un microscopi electrònic d'escaneig ambiental, en angles, *environmental scanning electron microscopic* (ESEM) que mostren danys més profunds i més grans en materials hidròfobs (columna dreta) que en materials hidròfils (columna esquerra). El dany a les lents hidròfiles sembla ser més circular mentre que el dels hidrofòbics és més esquinçat.

Durant la capsulotomia es poden formar picades en les LIO, es produeix en el 15-33% dels ulls. Com a principal causa és a causa d'un enfocament incorrecte i inexacte del raig làser. Se suposa que això no és visualment significatiu, encara en algunes ocasions el dany pot causar suficient enlluernament, llum difusa i degradació de la imatge.

Aquest estudi també qüestiona si l'energia que s'utilitza per aclarir l'eix visual en la capsulotomia pot causar danys a la lents intraocular. Hi han 2 tècniques principals són el patró creuat i el patró circular. El patró creuat implica l'ús del làser YAG per crear un patró creuat, que els punts de làser es col·loquen en el centre de la LIO. El patró circular crea un tall circular, que després permet una obertura capsular posterior rodona. Amb aquest mètode, els làser no es col·loca en la zona òptica central sinó a la perifèria. Per tant, la possibilitat de picades centrals i efectes negatius a l'òptica és menor. Major nivells d'energia del làser pot provocar dany a la LIO.

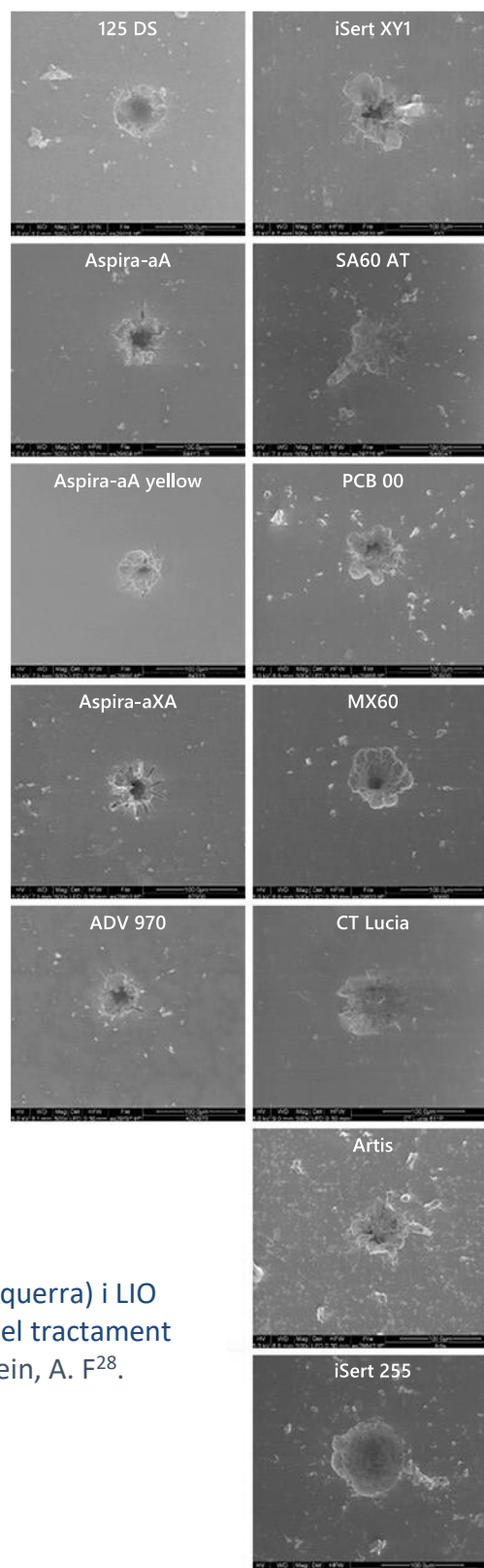


Figura 10. Imatges ESEM de les LIO hidròfiles (columna esquerra) i LIO hidròfobs (columna dreta) que mostren danys després del tractament amb làser Nd:YAG. Tret la referència de l'article Borkenstein, A. F<sup>28</sup>.

En l'estudi no han pogut observar diferències en les propietats òptiques després del procediment làser entre els dos tipus de material, encara que estudis anteriors indiquen que aquestes diferències existeixen fins a un cert punt. Trobem evidència que el material canvia químicament a causa del procediment. Aquests canvis semblen ser més grans del que s'observa visualment, però aquest factor s'ha de investigar més perquè hi ha poca evidència científica.

En la figura 11, es mostra 3 diferents exemplars de lents intraoculars en un mapa de color. En l'anàlisi d'aberracions oculars s'observa unes taques blanques inusuals, això és degut als danys i defectes que ha provocat els materials de les lents intraoculars.

En aquest es fa referència a l'estudi de Rozma et al.<sup>29</sup> que compara les diferències entre els materials en termes de qualitat del front d'ona. Van mesurar les aberracions del front d'ona en LIO hidròfiles i hidrofòbiques abans i 2 setmanes després del procediment Nd:YAG. No es van trobar diferències significatives entre els 2 grups, hi va haver canvis no significatius abans i després del tractament en el grup hidròfil, però una reducció significativa de l'RMS i els valors de pic a vall en el grup hidrofòbic.

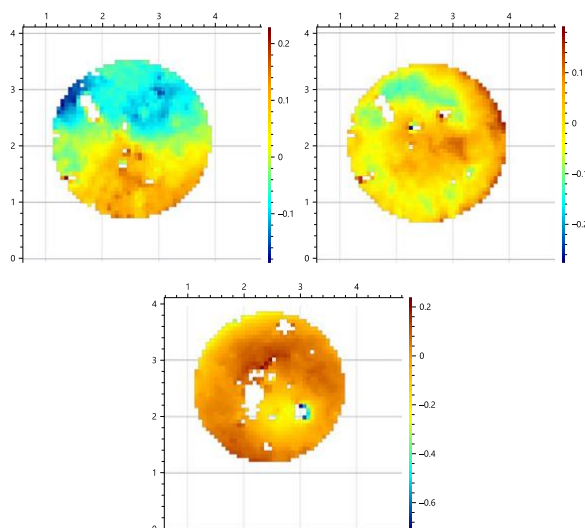


Figura 11. Anàlisi de front d'ona d'una LIO

Tret la referència de l'article Borkenstein, A. F<sup>28</sup>.



## 9.5. DIÀMETRE PUPIL·LAR

L'estudi A.D. Ortiz et al.<sup>30</sup> avalua la qualitat òptica i el rendiment d'una LIO monofocal (AcrySof MA60) i dos LIO multifocals per determinar si hi ha diferències en el rendiment òptic entre les tecnologies de LIO multifocal difractiva (ReSTOR) i refractiva (Rezoom) en funció de mida de la pupil·la.

En el seu estudi, per valorar la qualitat òptica intraocular de les LIO es va fer a través dels coeficients d'aberració i els valors RMS, obtinguts i analitzats amb diàmetres pupil·lars de 3,0 mm i 5,0 mm.

En la figura 12, es demostra que el diàmetre de la pupil·la té una influència important en el rendiment òptic de les tres LIO, amb un rendiment que disminuïa amb l'augment de la mida de la pupil·la. Això va ser especialment cert en el grup lents monofocals (AcrySof MA60), que va tenir el major augment de les aberracions esfèriques i de coma quan el diàmetre de la pupil·la augmentava de 3 a 5 mm. La LIO ReSTOR va ser la menys afectada pel diàmetre de la pupil·la a causa del seu disseny apoditzat, aquest disseny provoca que la llum que entra per la vora de la pupil·la és menys efectiva a la imatge de la retina que la llum que entra pel centre de la pupil·la. En la LIO Rezoom, les aberracions coma tenien un valor més elevat.

En conclusió, les diferències entre les LIO eren més grans quan la pupil·la augmentava de 3,0 a 5,0 mm, sent la LIO difractiva AcrySof ReSTOR la menys afectada pel diàmetre de la pupil·la en termes d'aberracions intraoculars.

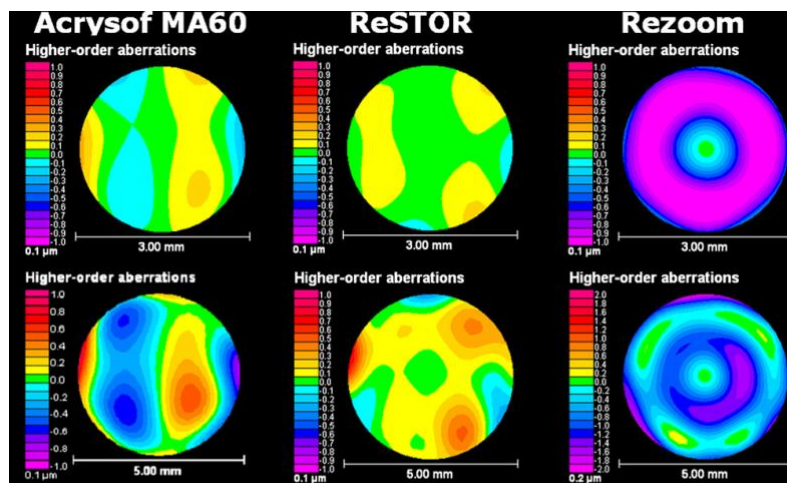


Figura 12. Mapes comparatius del front d'ona intraocular in de les 3 LIO amb una pupil·la de 3,0 mm (fila superior) i una pupil·la de 5,0 mm (fila inferior). Tret la referència de A.D. Ortiz et al.<sup>30</sup>

## 9.6. AVALUACIÓ DEL TEMPS D'INTERVENCIÓ

L'estudi de C.Y. LEE et al 2022<sup>31</sup>, investiga l'efecte del temps de la capsulotomia làser en els resultats visual.

Observen que els pacients que han fet la capsulotomia làser dintre d'un any, experimenten canvi de moviment hipermetrop en comparació amb les que reben la capsulotomia després d'un temps més llarg.

El temps de la capsulotomia pot ser un factor crític per a la refracció ja que l'estabilitat de la LIO no és consistent després de la cirurgia de cataractes. En l'estudi de T. Monteiro et al.<sup>27</sup> van comentar comparant amb l'estudi de Findl et al. que en el primer donava un canvi miopic en comptes de hipermetrop, pot ser degut per diferents moments d'avaluació després del tractament. A causa de que l'estudi de Findl va ser just després de la capsulotomia i en canvi els d'ella va ser després d'un mes.

Sobre aquest variable, el temps d'intervenció de la capsulotomia làser, és un estudi nou que encara s'està estudiant, per això no s'ha trobat molta evidència científica.

## 10. CONCLUSIÓ

En conclusió, l'opacificació capsular posterior (OCP) és una complicació comú que es dona després de la cirurgia de cataractes. Generalment afecta a l'eix visual, i acaba provocant un deteriorament en l'agudeses visual.

L'OCP es tracta amb la capsulotomia làser de Nd:YAG que consisteix en l'emissió de polsos de llum molt curts d'elevada energia, emet una longitud d'ona de 1064. Després del procediment millora l'agudeses visual i la sensibilitat de contrast. Malgrat això hi ha factors que poden provocar símptomes com enlluernaments, halos, ...

En diversos estudis, s'ha observat que la capsulotomia posterior amb làser YAG no modifica l'estat de refracció dels ulls després del procediment. És a dir, no hi va haver canvis en l'esfera, l'eix o l'equivalent esfèric, a més el component cilíndric decreix, donen lloc a una millor qualitat visual. Pot haver-hi canvis cap a un desplaçament miop o hipermetrop, és a dir, pot induir un canvi significatiu en la posició de la lent intraocular (LIO) a causa del disseny i el material de la LIO.

La capsulotomia làser provoca una disminució significativa de les aberracions del front d'ona ocular, i per tant hi ha una millora en la qualitat òptica després del procediment. Les aberracions oculars disminueixen en la mateixa mesura independentment del disseny i el tipus de la LIO. Un factor molt important a considerar és el diàmetre pupil·lar, perquè l'augment del diàmetre de la pupil·la provoca una major aberració esfèrica.

S'ha demostrat que el contingut d'aigua juga un paper important en els defectes generats pel làser YAG, si hi ha una LIO hidròfila (alt contingut en aigua) el dany de l'estructura superficial de les LIO és major i intens, i una LIO hidròfoba (baix contingut en aigua), no resulta tantes discrepàncies.

La capsulotomia làser dona millors resultats si es realitza fins un any després de la cirurgia de cataractes per evitar la inestabilitat de la LIO i el canvi refractiu posterior.

L'experiència conjunta de tot el treball ha estat realment bona ja que he pogut ampliar coneixements en un tema en concret, tant en la part teòrica com en la part de recerca. Realitzant aquest treball, m'he donat compte que és un camp realment ampli, però que encara queda moltes aspectes per tractar.

## 11. BIBLIOGRAFIA:

1. Informe mundial sobre la visión (2020). World Health Organization. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/331423/9789240000346-spa.pdf>
2. Statista. (2022, 21 junio). Número de operaciones de cataratas España 2004-2018. HYPERLINK "https://es.statista.com/estadisticas/1031454/numero-de-procedimientos-quirurgicos-de-cirugia-de-catarata-en-espana/"  
<https://es.statista.com/estadisticas/1031454/numero-de-procedimientos-quirurgicos-de-cirugia-de-catarata-en-espana/>
3. Cataract Surgery Complications – EyeWiki.  
[https://eyewiki.aao.org/Cataract\\_Surgery\\_Complications](https://eyewiki.aao.org/Cataract_Surgery_Complications)
4. Tomás-Juan J. Opacificación capsular posterior: diagnóstico, prevención y tratamiento con láser Nd-YAG. Cienc Tecnol Para Salud Vis Ocul [Internet]. 2015;12(2):117. Disponible en: <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1301&context=svo>
5. Cooksley, G., Lacey, J., Dymond, M. K., & Sandeman, S. (2021). Factors affecting posterior capsule opacification in the development of intraocular lens materials. *Pharmaceutics*, 13(6), 860. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13060860>
6. Wormstone, IM. Posterior capsule opacification: a cell biological perspective. *Exp Eye Res.* 74 (2002), pp. 337-347
7. Trotec Laser GmbH. (n.d.). Láseres Nd:YAG: terminología y funcionalidad. Trotec Laser GmbH. <https://www.troteclaser.com/es/ayuda-y-asistencia/centro-de-ayuda/laser-nd-yag>
8. Davey, P. (2014). *Ophthalmology: Current Clinical and Research Updates*. BoD Books on Demand.
9. Protocolo de capsulotomía Nd:YAG. Indicaciones y técnica. Pautas de seguimiento y tratamiento [Internet]. Sociedadoftalmologicademadrid.com. Disponible en: <https://sociedadoftalmologicademadrid.com/revistas/revista-2018/m2018-13a.html>
10. Kelly Boucher, O. (2015, June 15). “capping off” cataract surgery. *Review of Optometry*. <https://www.reviewofoptometry.com/article/capping-off-cataract-surgery>
11. Findl, O. (n.d.). Intraocular Lens Materials and Design. <https://www.semanticscholar.org/paper/Intraocular-Lens-Materials-and-Design-Findl/0ee81d6e497e912a8e3c6061c16b167d373e744f>
12. Nouraeinejad A. More than fifty percent of the world population will be myopic by 2050. *Beyoglu Eye J* [Internet]. 2021;6(4):255-6. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.14744/bej.2021.27146>

13. Kibo. (2021, January 18). ¿Qué son las aberraciones ópticas?• Portal de Salud. tusdudasdesalud.com. <https://tusedudasdesalud.com/vision/ofthalmologia/aberraciones-opticas/>
14. Clara, García B, García CB, Celestino SM, Viñas M, Madrid P. UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID [Internet]. Ucm.es. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/66713/1/T42517.pdf>
15. Higher vs. Lower order aberrations [Internet]. Black Hills Regional Eye. Black Hills Regional Eye Institute; 2012. Disponible en: <https://www.lasikrapidcity.com/2012/09/23/higher-vs-lower-order-aberrations/>
16. Maeda, N. (2009). Clinical applications of wavefront aberrometry - a review. Clinical and Experimental Ophthalmology, 37(1), 118–129. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9071.2009.02005.x>
17. Vessel, M. (2019, March 4). Higher-order aberrations. All About Vision. <https://www.allaboutvision.com/conditions/aberrations.htm>
18. Unterhorst, H. A. (2015, May 19). Ocular aberrations and wavefront aberrometry: A review. Unterhorst | African Vision and Eye Health. <https://avehjournal.org/index.php/aveh/article/view/21/315>
19. Chua CN, Gibson A, Kazakos DC. Refractive changes following Nd:YAG capsulotomy. EYE . 2001;15(Pt 3):304-5. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/eye.2001.99>
20. Wakamatsu TH, Yamaguchi T, Negishi K, Kaido M, Matsumoto Y, Ishida R, et al. Functional visual acuity after neodymium:YAG laser capsulotomy in patients with posterior capsule opacification and good visual acuity preoperatively. J Cataract Refract Surg [Internet]. 2011;37(2):258-64. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2010.08.048>
21. OshikaT,TokunagaT,SamejimaT,MiyataK,KawanaK,KajiY. Influence of pupil diameter on the relation between ocular higher-order aberration and contrast sensitivity after laser in situ keratomileusis. Invest Ophthalmol Vis Sci 2006; 47:1334– 1338
22. Vrijman, V., van der Linden, J. W., Nieuwendaal, C. P., van der Meulen, I. J., Mourits, M. P., & Lapid-Gortzak, R. (2012). Effect of Nd:YAG laser capsulotomy on refraction in multifocal apodized diffractive pseudophakia. Journal of refractive surgery (Thorofare, N.J. : 1995), 28(8), 545–550. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20120723-03>
23. Findl, O et al. “Changes in intraocular lens position after neodymium: YAG capsulotomy.” Journal of cataract and refractive surgery vol. 25,5 (1999): 659-62. doi:10.1016/s0886-3350(99)00010-3

24. Tan, Y., Zhang, J., Li, W., Jin, G., Luo, L., & Liu, Z. (2022). Refraction Shift After Nd:YAG Posterior Capsulotomy in Pseudophakic Eyes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Journal of refractive surgery (Thorofare, N.J. : 1995)*, 38(7), 465–473. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20220516-01>
25. Levy J, Lifshitz T, Klemperer I, Knyazer B, Ashkenazy Z, Kratz A, et al. The effect of Nd:YAG laser posterior capsulotomy on ocular wave front aberrations. *Can J Ophthalmol* [Internet]. 2009;44(5):529-33. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3129/i09-160>
26. Cinar, E., Yuce, B., Aslan, F., & Erbakan, G. (2020). Comparison of wavefront aberrations in eyes with multifocal and monofocal iols before and after Nd:YAG laser capsulotomy for posterior capsule opacification. *International ophthalmology*, 40(9), 2169–2178. <https://doi.org/10.1007/s10792-020-01397-2>
27. Monteiro, Tiago et al. “Comparative study of induced changes in effective lens position and refraction after Nd:YAG laser capsulotomy according to intraocular lens design” . *Clinical ophthalmology (Auckland, N.Z.)*, 12, 533–537. 2018
28. Borkenstein, A. F., & Borkenstein, E. M. (2021). Analysis of YAG Laser-Induced Damage in Intraocular Lenses: Characterization of Optical and Surface Properties of YAG Shots. *Ophthalmic research*, 64(3), 417–431. <https://doi.org/10.1159/000513203>
29. Rozema JJ, Koppen C, de Groot V, Tassignon MJ. Influència de la capsulotomia làser de neodimi:YAG en les aberracions del front d'ona ocular en ulls pseudofàquics amb lents intraoculars hidròfiles i hidrofòbiques. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35(11):1906–10.
30. Ortiz D, Alió JL, Bernabéu G, Pongo V (2008) Optical performance of monofocal and multifocal intraocular lenses in the human eye. *J Cataract Refract Surg* 34(5):755–762.
31. Lee, C. Y., Lu, T. T., Meir, Y. J., Chen, K. J., Liu, C. F., Cheng, C. M., & Chen, H. C. (2022). Refractive Changes Following Premature Posterior Capsulotomy Using Neodymium:Yttrium-Aluminum-Garnet Laser. *Journal of personalized medicine*, 12(2), 272. <https://doi.org/10.3390/jpm12020272>