

# The value of optical coherence tomography in anterior segment surgery

Citation for published version (APA):

Doors, M. (2014). *The value of optical coherence tomography in anterior segment surgery*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.20140221md>

## Document status and date:

Published: 01/01/2014

## DOI:

[10.26481/dis.20140221md](https://doi.org/10.26481/dis.20140221md)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## SUMMARY

Anterior segment optical coherence tomography (AS-OCT) is a rapidly evolving non-contact method for imaging the anterior segment of the eye. The aim of this thesis was to evaluate and explore the possibilities of AS-OCT (in particular the Visante OCT) in the field of refractive surgery, cataract surgery and corneal cross-linking.

**Chapter 1** summarizes the current research and practical applications of AS-OCT. Several biometry measurements can be performed, including a quantitative and qualitative assessment of the anterior chamber angle, corneal thickness, anterior chamber depth (ACD), angle-to-angle distance, crystalline lens rise and crystalline lens thickness. Furthermore, pathological changes in the anterior segment of the eye can be visualized, for example corneal opacities, uveitis and foreign bodies. LASIK-flap thickness, depth of intracorneal ring segments and safety distances of phakic intraocular lenses (pIOLs) can be measured. Finally, changes after corneal lamellar or penetrating keratoplasty can be easily demonstrated, even when the cornea is cloudy.

To study the reliability and agreement of central corneal thickness (CCT) and ACD measurements using AS-OCT, we compared them with a Scheimpflug device (Pentacam) and the Orbscan II (**Chapter 2**). The intraobserver reliability of AS-OCT is excellent for central corneal thickness (CCT) and anterior chamber depth (ACD) measurements. However, Pentacam, Orbscan II and AS-OCT measurements should not be used interchangeably for measurement of ACD and CCT in healthy subjects and patients after pIOL implantation. Pair wise comparison of these imaging technologies show significant mean differences, with large 95% limits of agreement.

**Chapter 3** evaluates the position of various iris-fixated pIOL models in the anterior chamber using AS-OCT and the effect of this position on the corneal endothelium. The distance from the edge of the pIOL to the corneal endothelium is considered the shortest distance to the endothelium. It has already been established that yearly endothelial cell density (ECD) measurements prior to and after pIOL implantation are mandatory to monitor the long-term effect of the pIOL on the endothelium. We found that a shorter distance between the edge of the pIOL and the endothelium is associated with higher endothelial cell loss. Therefore, we believe that besides yearly ECD measurements, anterior chamber morphometrics should be carefully monitored during the follow-up of patient with pIOLs. Especially since the distance from the edge of the pIOL to the endothelium will decrease due to age-related changes of the crystalline lens.

**Chapter 4** investigates the precision of a new preoperative simulation program of the Visante OCT for iris-fixated pIOLs. It compares preoperative anterior chamber morphometrics to the actual postoperative position of the pIOL. Measured distances included: center of pIOL to endothelium, edge of pIOL to endothelium (nasal and temporal side) and back of pIOL to crystalline lens. Bland-Altman plots show small mean differences between the preoperative simulation and actual postoperative position. However, clinicians should be aware of the presented ranges of agreement between 0.24 and 0.29 mm, which could be clinically relevant. One of the parameters responsible for this range is preoperative pupil size. The larger the pupil, the further the pIOL simulation model should be placed to the back of the iris tissue. Overall, the pIOL simulation program is a useful additional tool in the selection of patients considering pIOL implantation.

After demonstrating the importance of evaluating the edge distance before and after pIOL implantation, **Chapter 5** presents a linear model to assist ophthalmologists in patient selection and follow-up of pIOLs. This linear model predicts ECD counts during the follow-up of iris-fixated pIOL implantation in relation to the measured edge distance, patient age and preoperative ECD. Preoperative simulation is a useful tool in determining edge distance in the preoperative patient, which can be used in the presented model. However, as mentioned before, it is known that ACD decreases with age, which might result in a decrease in the minimum edge distance over time. A longer follow-up with AS-OCT will be needed to evaluate the effect of age-related changes of the natural lens on the distance from the edge of the pIOL to the endothelium. We hope this leads to the development of an adequate mathematical description of the postoperative endothelial cell loss with an accurate estimation of the decrease in edge distance over time. Our suggestion would be to perform AS-OCT preoperatively and to use the pIOL simulation program to estimate edge distance, but also to continue the evaluation of this edge distance during long-term follow-up.

**Chapter 6** describes a case series with a new late-onset complication after pIOL implantation: downward decentration due to progressive shifting of the haptics through the iris tissue. This complication can be discovered during standard slit-lamp examination, and can be objectively monitored by regular measurements of the edge distances using AS-OCT. This downward decentration is associated with a decrease in iris tissue. In our case series it does not result in a distance from the edge of the pIOL to the endothelium smaller than the recommended safety distance of 1.5 mm. A careful follow-up of these patients is necessary to decide whether timely refixation is indicated.

**Chapter 7** shows how AS-OCT is used as a tool for preoperative patient selection and postoperative evaluation of pIOL position in a large multicenter study evaluating the safety and effectiveness of a new foldable iris-fixated toric pIOL. It confirms that the preoperative pIOL simulation program was quite reliable when compared to postoperative morphometrics. The study also shows that the Artiflex Toric pIOL effectively and safely corrects myopia and astigmatism, with stable and predictable visual results. Strict inclusion criteria, correct surgical technique according to the manufacturer's specifications, and accurate postoperative examinations are required to achieve these results. Despite these precautions we did encounter non-pigment and pigment depositions on the Artiflex lens at different time points during the study. To limit these precipitates in the future, the investigators of the current study mention some of the most important patient selection criteria to be:  $ACD \geq 3.2$  mm (measured from epithelium), a flat iris and/or crystalline lens rise  $< 600$  microns, and an open chamber angle. The latter two criteria should preferably be evaluated using an anterior segment imaging device. Furthermore, subconjunctival steroids at the end of surgery and topical corticosteroids for at least 4 weeks are recommended. Overall, this lens can compete against the Toric Artisan pIOL, with the great benefit of the Artiflex Toric needing a smaller incision resulting in a faster visual recovery.

AS-OCT can also be used to evaluate the treatment depth of corneal collagen cross-linking (CXL) in patients with progressive keratoconus. **Chapter 8** demonstrates that the Visante OCT is able to visualize a stromal demarcation line after CXL. This line indicates the transition zone between the crosslinked anterior corneal stroma and the untreated posterior corneal stroma, and can be found within the first 3 months after the treatment, being most clearly visible 1 month postoperatively. The depth of the line can be accurately measured with AS-OCT. A deeper demarcation line depth is associated with a larger decrease in corneal thickness after the treatment. We believe that this decrease in corneal thickness implies a compacting process of corneal lamellae and a strengthening of collagen fibers. In terms of clinical outcome, all clinical keratoconus parameters remained stable from 3 to 12 months of follow-up after corneal cross-linking, thereby indicating a stabilization of keratoconus on the short term without the occurrence of clinically significant side effects. A longer follow-up will be needed to evaluate the long-term stabilizing effect of corneal cross-linking on the progression of keratoconus.

**Chapter 9** presents the results of a prospective study investigating the preoperative risk factors for postoperative corneal decompensation after cataract surgery in patients with Fuchs endothelial dystrophy. After logistic regression analysis, only preoperative CCT measured with AS-OCT was a significant predictor of corneal decompensation. All other preoperative and intraoperative parameters did not significantly contribute. The presented prediction model demonstrates that a

preoperative CCT above 620 microns results in an increased risk of needing corneal transplantation. For each 10 microns increase in preoperative CCT, the odds of developing corneal decompensation increases 1.7 times. We believe this model may assist ophthalmologists in patient selection and preoperative counselling, with non-contact corneal thickness measurement using AS-OCT as a key parameter. In terms of comparing torsional versus longitudinal phacoemulsification in these Fuchs patients, torsional phacoemulsification results in a significantly lower cumulative dissipated energy (CDE) and a shorter total ultrasound time. However, on the long run and in the hands of an experienced surgeon, there are no significant differences.

## SAMENVATTING

*Optical coherence tomography* (OCT) van het voorsegment is een techniek die zich de laatste jaren erg snel ontwikkelt. Het betreffende apparaat visualiseert het voorsegment van het oog zonder ermee in contact te komen. Het doel van dit proefschrift was om de mogelijkheden van voorsegment-OCT, in het bijzonder de Visante OCT, te ontdekken en te evalueren met de nadruk op refractiechirurgie, cataractchirurgie en corneale cross-linking.

**Hoofdstuk 1** vat de huidige mogelijkheden van de voorsegment-OCT voor onderzoek en praktijk samen in een review. Er kunnen verschillende biometrie-metingen worden uitgevoerd, zoals een kwantitatieve en kwalitatieve evaluatie van de kamerhoek, het meten van de dikte van de cornea, de diepte van de voorste oogkamer (VOK), de afstand tussen de kamerhoeken, de *lens rise* en de dikte van de eigen lens. Ook pathologische veranderingen in het oog kunnen in beeld worden gebracht, bijvoorbeeld cornea-opaciteiten, cellen in de voorste oogkamer bij uveitis en intraoculaire corpora aliena. Na refractiechirurgie kan de dikte van een LASIK-flap, de diepte van intracorneale ringsegmenten en de veiligheidsafstanden van een fake intraoculaire lens (IOL) worden gemeten. Tevens kunnen veranderingen in het voorsegment na lamellaire of penetrerende hoornvliestransplantaties in beeld worden gebracht, zelfs als het hoornvlies troebel is, bijvoorbeeld kort na de operatie.

Om de betrouwbaarheid van metingen met de Visante OCT te bepalen, worden deze in **Hoofdstuk 2** vergeleken met de Pentacam (een Scheimpflug-apparaat) en de Orbscan II. Bij zowel gezonde vrijwilligers, als patiënten met een fake IOL is met behulp van deze 3 apparaten de centrale corneadikte (CCT) en de VOK-diepte bepaald. Om de reproduceerbaarheid van metingen met de Visante OCT te testen, worden er achtereenvolgens drie metingen uitgevoerd door dezelfde persoon. De reproduceerbaarheid van CCT en VOK-diepte metingen met de Visante OCT is goed, met kleine standaarddeviaties. Wanneer de meetwaarden echter vergeleken worden met de Pentacam en Orbscan II, zijn de verschillen dusdanig significant dat deze niet gewoonweg tegen elkaar uitgewisseld kunnen worden.

**Hoofdstuk 3** evalueert de positie van verschillende typen iris-gefixeerde fake IOL's in de voorste oogkamer met behulp van de Visante OCT. Tevens wordt het effect van deze positie op het cornea-endotheel onderzocht. De afstand van de rand van het optiek van de fake IOL tot het cornea-endotheel (*edge distance*) wordt beschouwd als de kortste afstand tussen beide. In het verleden is reeds aangetoond

dat jaarlijkse metingen van de endotheelceldichtheid (ECD) voor en na fake IOL implantatie verplicht zijn om het lange-termijn effect van deze lenzen op het endotheel te kunnen monitoren. Onze studie stelt vast dat een kortere *edge distance* geassocieerd is met een hoger endotheelcelverlies. Daarom vinden wij dat naast jaarlijkse ECD-metingen, ook voorste oogkamer morfometrie moet worden verricht gedurende de follow-up van patiënten met een fake IOL. Vooral omdat onderzoek heeft aangetoond dat de eigen lens met de leeftijd steeds verder naar voren komt, waardoor de *edge distance* met de tijd zal afnemen.

**Hoofdstuk 4** onderzoekt de precisie van een nieuw preoperatief simulatieprogramma in de Visante OCT, speciaal ontworpen voor iris-gefixeerde fake IOL's. Het artikel vergelijkt de preoperatieve voorste oogkamer morfometrie met de daadwerkelijke postoperatieve positie van de fake IOL. De volgende afstanden zijn gemeten: centrum van IOL tot endotheel, rand van IOL tot endotheel (nasaal en temporaal) en achterkant van IOL tot eigen lens. Bland-Altman plots laten zien dat er kleine verschillen zijn tussen de gesimuleerde afstanden en de daadwerkelijke postoperatieve afstanden. Er wordt echter wel een behoorlijke spreiding in de getallen gevonden, tussen de 0.24 mm en 0.29 mm, welke mogelijk klinisch relevant zijn. Eén van de parameters die verantwoordelijk is voor deze spreiding is de preoperatieve pupildiameter. Hoe groter de pupil op de preoperatieve scan, des te verder moet de gesimuleerde IOL naar de achterkant van het irisweefsel worden geplaatst. In zijn totaliteit is het fake IOL simulatieprogramma een zeer goed bruikbaar additioneel hulpmiddel gedurende het preoperatieve selectieproces van patiënten die een fake IOL zouden willen.

Nadat de voorgaande hoofdstukken het belang van het meten van de *edge distance* voor en na fake IOL implantatie hebben laten zien, presenteren wij in **Hoofdstuk 5** een lineair model welke oogartsen kan helpen bij de selectie en follow-up van patiënten. Dit lineaire model voorspelt ECD gedurende de follow-up van iris-gefixeerde fake IOL's, waarbij de *edge distance*, de leeftijd van de patiënt en de preoperatieve ECD gebruikt wordt. De preoperatieve simulatie is hierin een gemakkelijk instrument om de *edge distance* te bepalen, welke gebruikt kan worden in het gepresenteerde model. We weten echter dat de VOK-diepte afneemt met de leeftijd. Dit kan resulteren in een afname van de *edge distance*. Een langere follow-up met voorsegment-OCT zal nodig zijn om het effect van de leeftijdsgerelateerde veranderingen in de eigen lens op de *edge distance* te bepalen. Wij hopen dat dit zal leiden tot de ontwikkeling van een adequate wiskundige beschrijving van het postoperatieve endotheelcelverlies met een nauwkeurige schatting van de afname van de *edge distance* in de tijd. Wij raden aan om preoperatief de fake IOL-simulatie van de voorsegment-OCT te gebruiken om de *edge distance* te kunnen inschatten en postoperatief deze afstand jaarlijks te blijven vervolgen samen met de ECD.

**Hoofdstuk 6** beschrijft een serie patiënten met een nieuwe complicatie na fake IOL implantatie die op de lange termijn kan optreden. Het betreft decentratie van de fake IOL door het zakken van de *haptics* (pootjes van de IOL) door het irisweefsel. Deze complicatie kan worden gezien bij spleetlamponderzoek en kan kwantitatief worden vervolgd door regelmatig voorste oogkamer morfometrie te verrichten. Het vóórkomen van decentratie is geassocieerd met een afname van irisweefsel. In onze serie resulteert het echter niet in een *edge distance* kleiner dan de in de literatuur geadviseerde afstand van 1.5 mm. Deze patiënten moeten nauwkeurig worden vervolgd om tijdig te kunnen beslissen of refixatie geïndiceerd is, bijvoorbeeld door een sterke afname van de ECD en/of de *edge distance*.

**Hoofdstuk 7** laat zien hoe de voorsegment-OCT gebruikt kan worden voor preoperatieve patiëntselectie en postoperatieve evaluatie van de fake IOL-positie. De veiligheid en effectiviteit van een nieuwe vouwbare iris-gefixeerde torische fake IOL wordt in een grote multicenter studie geëvalueerd. De studie bevestigt dat de preoperatieve fake IOL simulatie een betrouwbare voorspeller is van de daadwerkelijke postoperatieve metingen. Tevens wordt de Torische Artiflex fake IOL effectief en veilig bevonden in het corrigeren van myopie en astigmatisme, met stabiele en voorspelbare resultaten. Strenge inclusie-criteria, een correcte operatieve techniek zoals voorgeschreven door de fabrikant, en nauwkeurige postoperatieve onderzoeken zijn noodzakelijk om deze resultaten te behalen. Ondanks deze voorzorgsmaatregelen zagen wij deposities op de Artiflex lens gedurende de studie. Om deze deposities in de toekomst tot een minimum te beperken, noemen de onderzoekers van de studie een aantal belangrijke selectie-criteria: VOK diepte  $\geq 3.2$  mm (vanaf het epitheel gemeten), vlakke iris configuratie en/of *lens rise*  $< 600$  micron, en een open kamerhoek. De laatste twee criteria dienen bij voorkeur geëvalueerd te worden met behulp van een beeldvormende techniek voor het voorsegment, zoals de Visante OCT. Tevens wordt aanbevolen om steroïden aan het einde van de operatie subconjunctivaal achter te laten en topicale steroïden gedurende minstens 4 weken na de operatie voor te schrijven. Deze lens kan goed concurreren tegen de Torische Artisan fake IOL. Het grote voordeel van de vouwbare Torische Artiflex lens is de kleinere incisie, welke resulteert in een sneller visueel herstel.

Voorsegment-OCT kan ook worden gebruikt na corneale cross-linking (CXL) om de diepte van de behandeling te evalueren. **Hoofdstuk 8** demonstreert de mogelijkheid om met de Visante OCT een stromale demarcatieline na CXL te visualiseren. Deze lijn geeft de overgangszone tussen het behandelde anterieure corneale stroma en onbehandelde posterieure stroma weer. Deze kan worden gezien gedurende de eerste drie maanden na de behandeling en is het duidelijkst zichtbaar één maand postoperatief. De diepte van de demarcatieline kan nauwkeurig worden gemeten met



de Visante OCT. Een diepere demarcatieline is geassocieerd met een grotere afname van corneadikte na de behandeling. Onze hypothese is dat deze afname van de corneadikte een gevolg is van het compacter worden van de cornea-lamellen met een versteviging van de collageenvezels. Wanneer we kijken naar de klinische uitkomstmaten zien we dat alle keratoconus-parameters stabiel blijven tussen 3 en 12 maanden na CXL. Dit wijst op een stabilisatie van de keratoconus tot 1 jaar na de behandeling zonder het optreden van klinisch significante bijwerkingen. Een langere follow-up is noodzakelijk om de effecten van CXL op de progressie van keratoconus op de lange termijn vast te kunnen stellen.

**Hoofdstuk 9** presenteert de resultaten van een prospectieve studie bij patiënten met Fuchs' endotheldystrofie en cataract. We gaan op zoek naar de preoperatieve risicofactoren van postoperatieve cornea-decompensatie na cataractchirurgie in deze kwetsbare patiëntengroep. Na logistische regressie analyse blijkt alleen preoperatieve CCT, gemeten met de Visante OCT, een significante voorspeller voor cornea-decompensatie. Alle andere preoperatieve en intraoperatieve parameters vertonen geen significante bijdrage. Er wordt een model gepresenteerd die demonstreert dat een preoperatieve CCT > 620 micron resulteert in een verhoogd risico op cornea-decompensatie. Voor elke 10 micron toename van de preoperatieve CCT, stijgt de kans op het ontwikkelen van cornea-decompensatie met 1.7 keer. Dit model kan oogartsen helpen tijdens het preoperatieve selectieproces en het gesprek met de patiënt ten aanzien van de postoperatieve prognose, waarbij de corneadikte gemeten met de Visante OCT op de voorgrond staat.