

OPTICAL COHERENCE TOMOGRAPHY

Henrik Johansson, Ola Johansson, Henrik Järner & Viktor Jönsson



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

INTRODUKTION

Optisk koherens tomografi (OCT) är en avbildningsteknik för biologiskt material som bygger på ljus av våglängder längre än synligt ljus, nära infraröd strålning. Den axiella upplösningen på mikrometerskalan, att man kan se flera millimeters djup och framförallt att patienten inte behöver utsättas för någon fysisk kontakt med apparaten gör att OCT idag har ganska unika egenskaper.

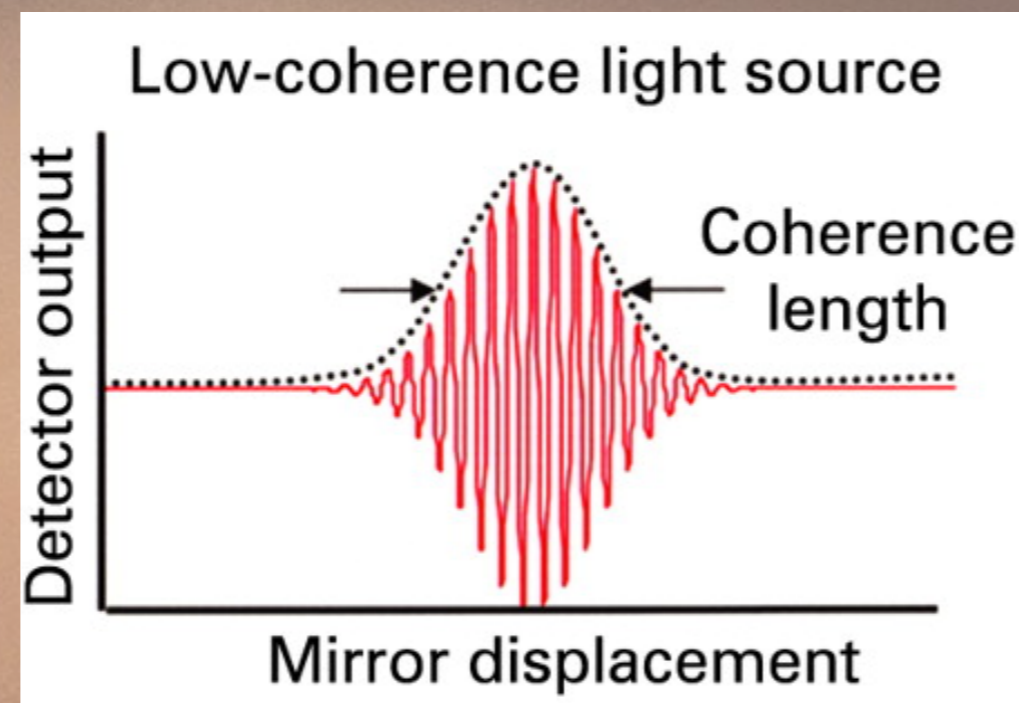
Principer bakom OCT

Koherens: Ett optiskt fenomen som handlar om färförskjutning i vågor. Koherent ljus består av vågor med samma frekvens och konstant inbördes färförskjutning.

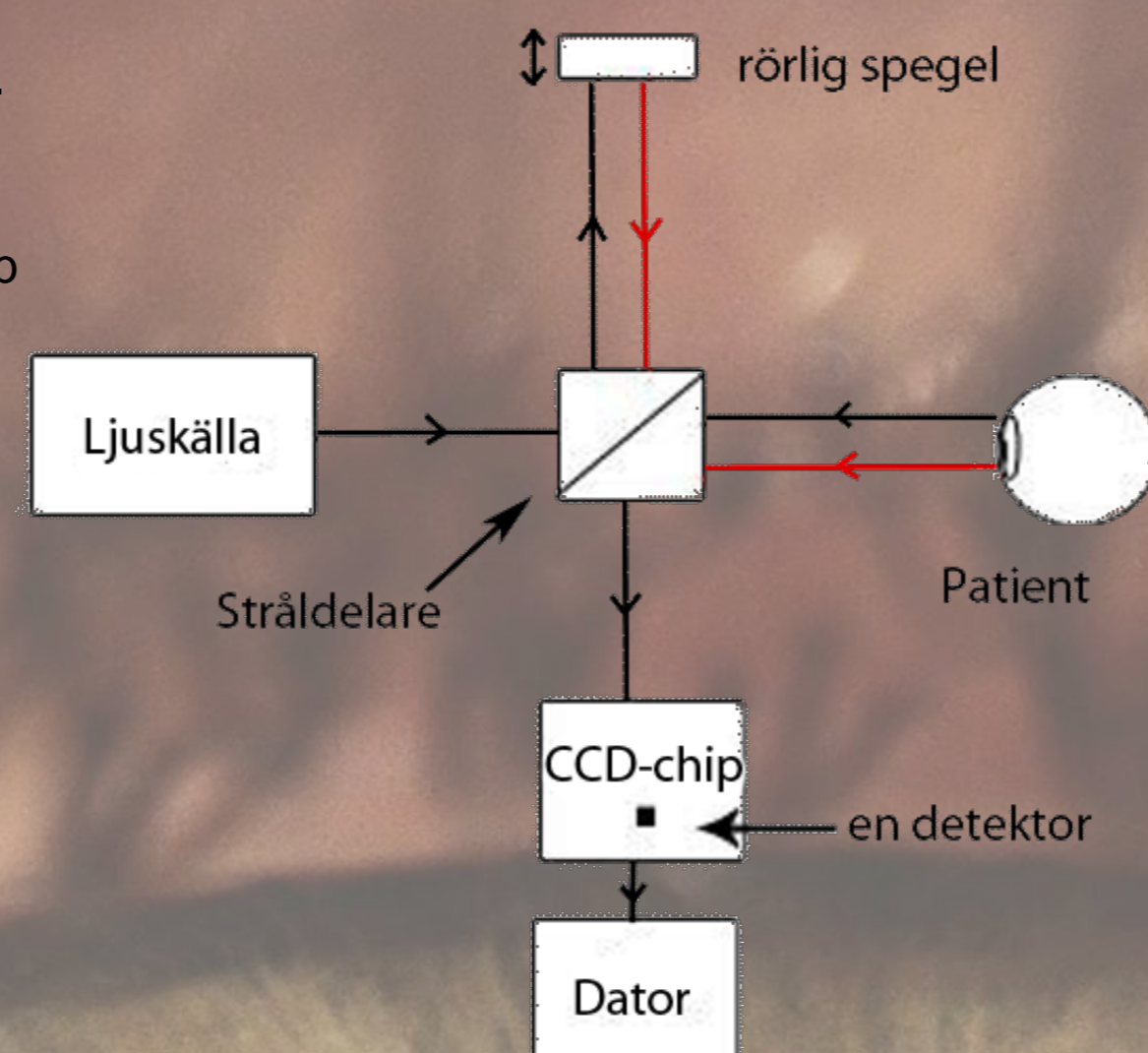
Tomografi: En teknik som utnyttjar elektromagnetisk strålning. Genom att skicka in strålning i någon form av biologisk vävnad och sedan göra mätningar på den strålning som kommer tillbaka kan man skapa en bild av hur något ser ut under ytan.

Koherenslängd: Ett mått på hur länge en ljuskälla sänder ut ljus som kan interferera positivt med sig själv. Man skickar iväg ett strålnippe från en ljuskälla. Sedan delar man upp strålen och låter en del av strålen färdas en viss sträcka för att sedan interferera med de vågor som just sänts ut från samma ljuskälla. Ju längre sträcka ljuset har färdats och det fortfarande uppstår positiv interferens desto längre koherenslängd har ljuskällan.

Optisk koherens tomografi: Ljuskällan i OCT är inkoherent och polykromatisk. En inkoherent ljuskälla består av många olika våglängder och skickar bara ut identiska våglängder under en kort period. Detta utnyttjas i OCT då man sänder in den elektromagnetiska vågen i det biologiska materialet. Tekniken kan bara användas till att undersöka ett par millimeters djup; ljuset som färdats längre in i materialet sprids eller absorberas i så hög grad att man inte kan mäta den reflekterade signalen. Det absolut vanligaste är att man undersöker ögat. Detta är lämpligt eftersom ögats glaskropp är optiskt genomsläpplig.



Registrerad interferens vid detektor



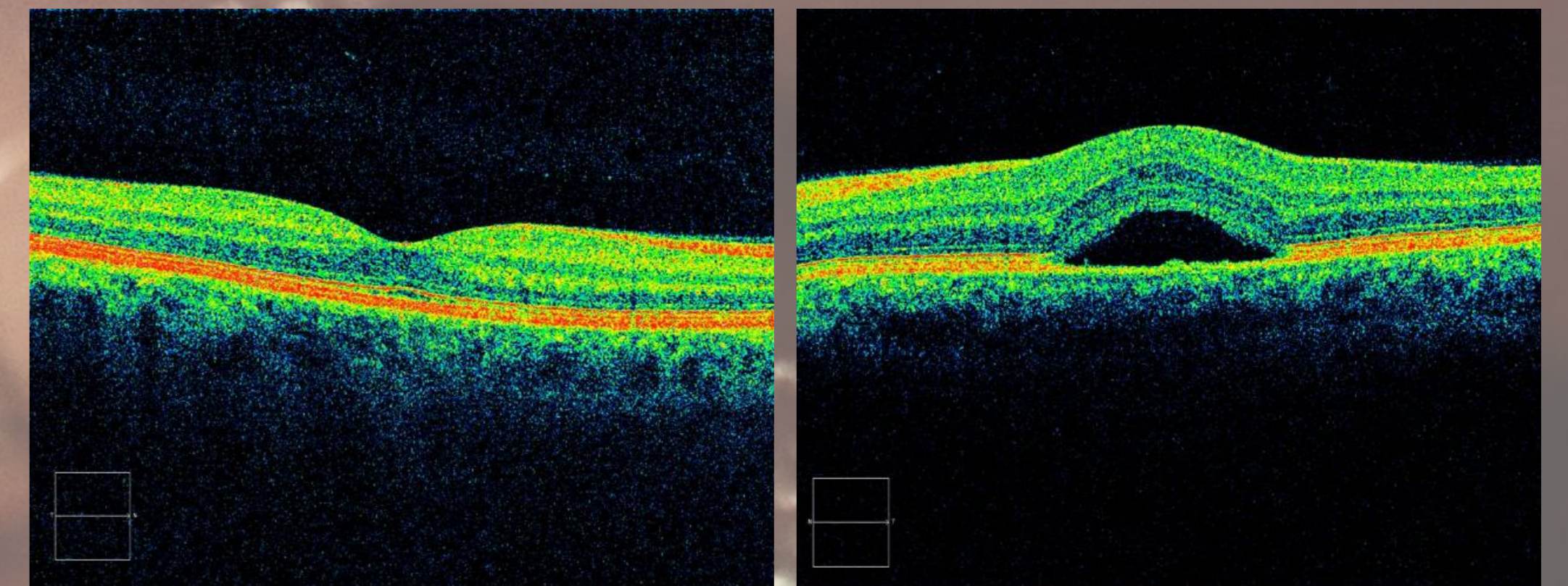
Principskiss för TD-OCT

TILLÄMPNING

Ögat

Det primära användningsområdet är att undersöka ögat. Med OCT kan man:

- Mäta näthinnans nervtrådlager
- Mäta volymen av näthinnan
- Skapa kartor av näthinnans tjocklek
- Isolera och skapa kartor av interna begränsande membran och pigmentepitelet
- Mäta olika parametrar för optiska skivan
- Visa tredimensionella mätningar
- Skapa klassiska C-scan (en face) analyser, vilket ger horisontella vävsnidnit.



Med hjälp av OCT är det mycket lätt att upptäcka abnormaliteter i ögat då skillnader gentemot den omkringliggande vävnaden syns tydligt. (se bild ovan). Bilderna visar näthinnan kring gulaflecken. Det vänstra ögat är friskt, medan det högra är ett öga med Central Serous Chorioidopathy (CSR), vätskansamling bakom gula flecken.

Konst

På senare år har andra OCT-tillämpningar gjort stora framsteg, bland annat bevarandet av konst och arkeologi. Med OCT kan forskare undersöka objektens färguppsättning, nedbrytning m.m. utan att ta prov av dem. Eftersom man slipper ta små prov från objektet, kan man göra hur många undersökningar man vill. Denna metod har visat sig effektivare än exempelvis mikroskopi som använts tidigare.

Vid undersökning av tavlor erbjuder OCT en möjlighet att kunna se bland annat tjockleken på färgerna, ett yttre skyddande lager, och eventuell ny färg eller hur många lager målningen består av. Man kan även undersöka hur tavlan ser ut under översta lagret, alltså den "förbild" som konstnären ritat upp som grund till sitt arbete. Med dessa möjligheter inses lätt att man även skulle kunna använda OCT till att upptäcka tecken på förfälskning eller restaurering.

TIME-DOMAIN OCT

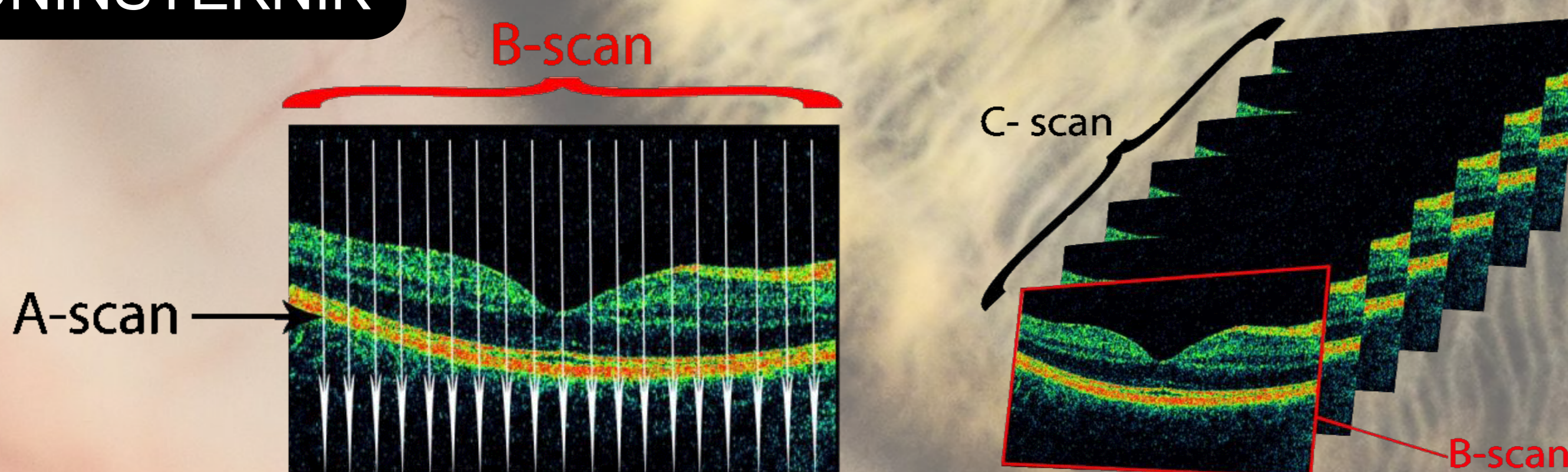
Time-domain OCT (TD-OCT) är den enklaste typen av Optisk koherens tomografi och började användas runt 1990. Den beskrivs nedan.

Det utsända ljuset delas upp i två delar analogt med en Michelson Interferometer. För varje läge man placerar referensspegeln i kommer det ljus som färdats samma optiska väg i det biologiska materialet som referensstrålen färdats att ge positiv interferens vid detektorn. Det ljus som reflekteras djupare och yttigare kommer också att registreras av detektorn, men beroende av koherenslängden kommer detta ge mer eller mindre positiv interferens. (Se bilder ovan)

Den positiva interferens som uppstår motsvarar "bilden" av ett skikt. Skikt djupet motsvaras av längden på det positiva interferensmönstret och är alltså beroende av hur koherent ljuskällan är. Man får en bättre upplösning om man använder en ljuskälla som har en kortare koherenslängd.

Vid undersökning av biologiskt material använder man en ljuskälla med en våglängd på ca 1000nm och en kort koherenslängd på några mikrometer, det är koherenslängden som avgör skikt djupet. För att få bilder av andra djup flyttar man referensspegeln steglöst i en riktning. Detektorn registrerar signalerna med jämna intervall varpå man får interferens från andra djup.

AVBILDNINGSTEKNIK



Dessa tre bilder visar gula flecken. Fovea, centralgropen, är en fördjupning i gula flecken. Det är där detaljseendet sitter.

En OCT bild byggs upp i tre olika steg eller scans. Den enklaste är A-scan. Antalet A-scan avgör hur hög upplösning bilden får.

A-scan: A-scan är en ljuspelare rakt in i det undersökta materialet.

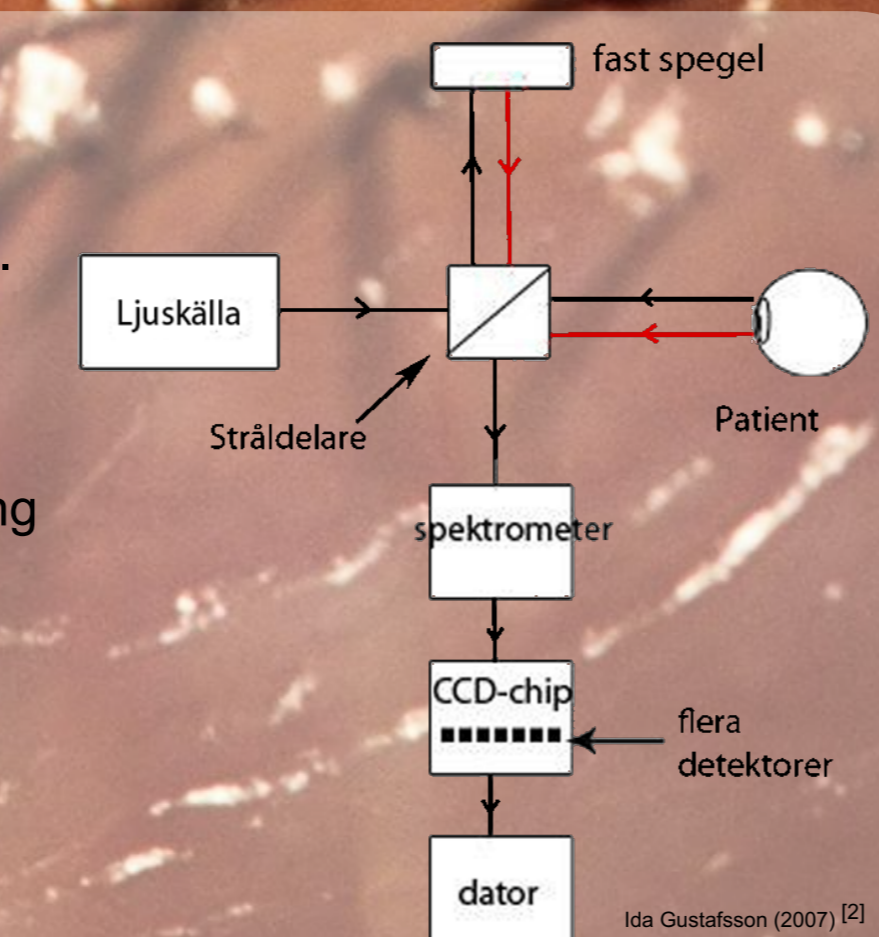
B-scan: För att få en tunn skiva rakt in i materialet gör man flera A-scans längs en sträcka vilket kallas för en B-scan.

C-scan: För att få en tredimensionell bild gör man flera B-scans i ett svep över ytan och får på så vis en så kallad C-scan.

SPECTRAL OCT

Den mest använda formen av OCT idag är Spectral OCT (FD-OCT) som introducerades 1995. Spectral OCT bygger på en fast spegel där man mäter reflekterad strålning från alla djup samtidigt. Med TD-OCT är bildtagningshastigheten begränsad av den rörliga spegeln och kan därför bara ta runt 400 A-scan per sekund jämfört med Spectral OCT:s 40 000.

Man låter det reflekterade ljuset passera genom en spektrometer som gör att man får en uppdelning efter våglängd. Den uppdelade signalen registreras sedan av ett stort antal sensorer i detektorn. Bilden genereras i en dator med hjälp av en matematisk metod kallad Fouriertransform. Den ökade bildtagningshastigheten hos Spectral OCT ger bättre och säkrare bilder och risken för falska detaljer till följd av ögonrörelser minskar.



Ida Gustafsson (2007) [2]

PRODUKT

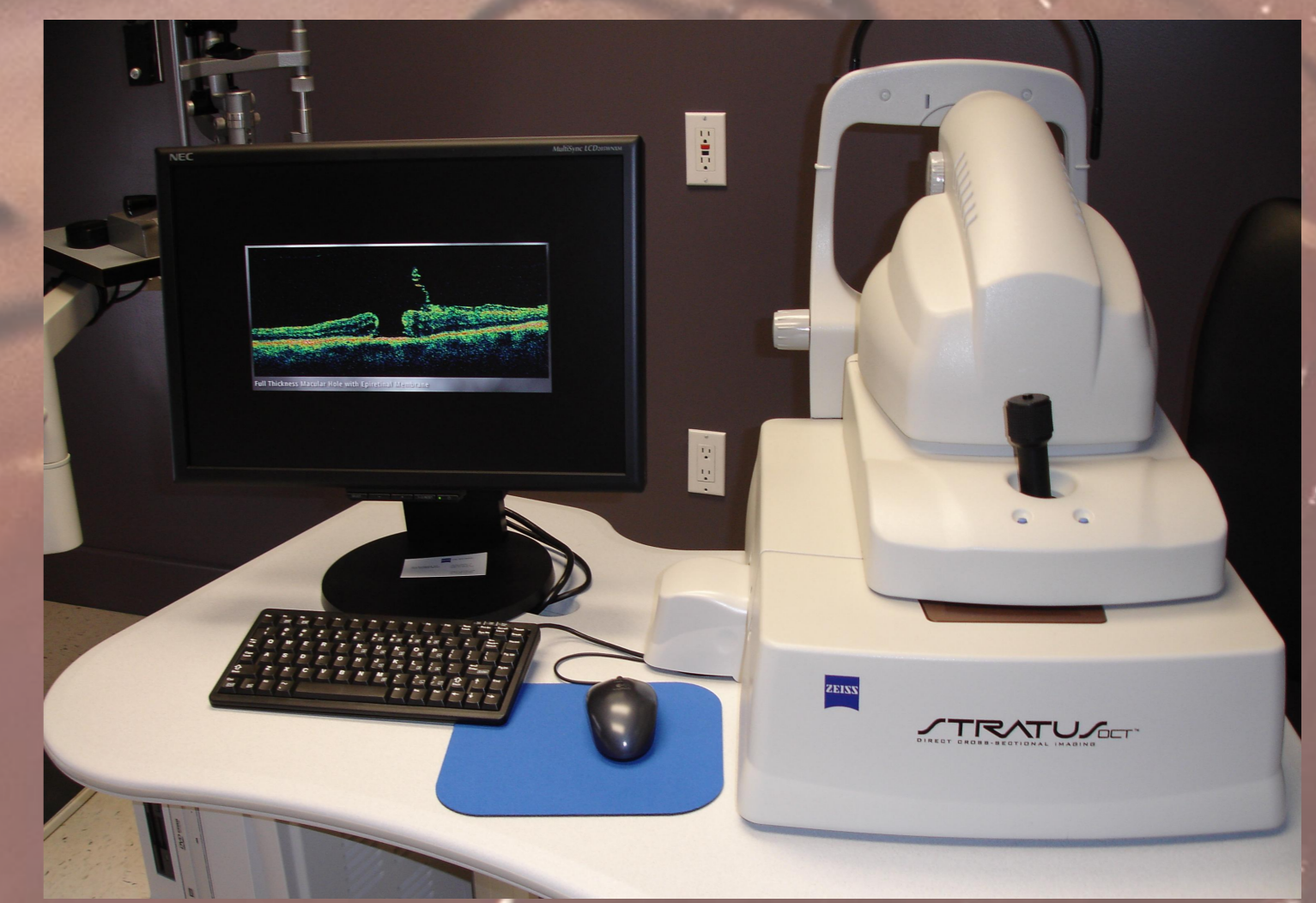
Marknaden för OCT är stark växande, den förväntas växa med 36% varje år fram till 2012 och kommer då att omsätta 800 miljoner dollar årligen^[10]. Den starka växten beror på bland annat att alla TD-OCT håller på att fasas ut till förmån för Spectral-OCT samtidigt som OCT förväntas börja användas inom nya områden.

Det finns ca 15st aktörer på OCT marknaden nu. Carl Zeiss AG är störst, Zeiss mest sålda model är Stratus OCT och är en äldre TD-OCT, den kostar 38 000\$ och har sålts i över 9 000 exemplar^[14]. När den lanserades var Stratus den enda OCT:n med möjlighet att jämföra förändringar i gulaflecken, blinda flecken och ögonnerverna. Den kan med andra ord utföra flera maskiners jobb. Stratus kan ta 400A-scans/sekund och har en axiell upplösning på 9-10µm^[13], vilket är mycket sämre än hos modernare OCT-apparatur.

I USA genomförs över 37 000^[10] ögonundersökningar med en OCT varje dag, så det är en stor marknad. Det kan vara värt att notera att Carl Zeiss AG samt Heidelberg Engineering, två stycken giganter på OCT marknaden, båda kommer ifrån Tyskland.

För tillfället finns de huvudsakliga användningsområdena för OCT inom ögondiagnostik, men det kommer inte att förbli så. OCT kan användas vid undersökningar av nästan hela kroppen inom så skilda områden som tänder och hud. Speciellt lovande ser det ut inom intravaskulära undersökningar där OCT håller på att ersätta ultraljud. Behovet av intravaskulära undersökningar kommer att öka i framtiden i takt med att hjärt-kärlsjukdomarna blir ett större problem.

Det finns en framtid för OCT utanför den medicinska världen, inom industrin vid kvalitetskontroller där möjligheten att se inre strukturer i realtid med mycket hög precision är eftertraktad. Hittills har OCT bara använts vid enstaka kontroller men det jobbas hårt på att få ut det till industrin och etablera det som ett vardagligt inslag vid kontroller.



Dr. Scieszka, Jeff

AVSLUTNING

OCT är alltså primärt en medicinsk avbildningsteknik som bygger på interferens hos ljus. Den ger möjlighet att snabbt avbilda material med hög skärpa på begränsat djup. OCT är idag ett oundgängligt verktyg inom ögonsjukvården och hjälper många människor att upptäcka sjukdomar i tid. OCT är fortfarande en ung teknik under ständig utveckling. Den kommer i framtiden att kunna användas inom många nya områden.

KÄLLOR

¹Wilkins, Alasdair. *Two New Methods Lend Scientific Muscle To Detecting Art Forgeries*, publicerad 10-02-2010, <http://io9.com/5468243/two-new-methods-lend-scientific-muscle-to-detecting-art-forgeries>, hämtad 1 november 2010.

²Gustafsson, Ida (2008) *OCT inom ögon sjukvård*, Examens arbete, Blekinge Tekniska Högskola, <http://bit.ly/9abqdf>, hämtad 1 november 2010.

³Glittenberg, Krebs, Binder, (13-09-2009), *OCT Image Gallery*, <http://www.carlglittenberg.com/OCT-Gallery/index.html>, Senast uppdaterad 13 september 2009, hämtad 2 november 2010.

⁴Schmitt, Joseph M. *Optical Coherence Tomography (OCT): A Review*, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 5, Nr. 4, Juli/Aug 1999, <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=796348>, hämtad 1 november 2010.

⁵Sjölander, Alf, (2010) koherens, Nationalencyklopedin, <http://www.ne.se/lang/koherens> hämtad 2 november 2010.

⁶Dr. Scieszka, Jeff, *Advanced Family Eyecare, P.C.*, <http://www.optiboard.com/forums/showthread.php/33364-Zeiss-Stratus-OCT-Available-Now>, hämtad 8 november.

⁷Liang, Peric, Hughes, Podoleanu, Spring, Saunders, (2007), *Optical Coherence Tomography for Art Conservation & Archaeology*, http://www2.ntu.ac.uk/stafffiles/phy3liangh/6618_4.PDF, hämtad 29 oktober 2010.

⁸Kiernan, Mieler, Hariprasad, *Spectral-Domain Optical Coherence Tomography: A Comparison of Modern High-Resolution Retinal Imaging Systems*, <http://bit.ly/9fYVqo>, hämtad den 3 november 2010.

⁹Datta Rupa, Aditya S, Tibrewala D-N, (2010), *Advancement in OCT and image-processing techniques for automated ophthalmic diagnosis*, School of Bioscience & Engineering, Jadavpur University, tillgängligt på <http://bit.ly/at0vVT>, hämtad den 2 november 2010.

¹⁰G. Smolka, (2008), *Optical Coherence Tomograph: Technology, Markets, and Applications 2008-2012*, PennWell Corp., www.BioOpticsWorld.com/resourcecenter/OCTreport.html, hämtad den 4 november 2010.

¹¹*Coherence (physics)*, (2010), [http://en.wikipedia.org/wiki/Coherence_\(physics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Coherence_(physics)), senast uppdaterad 18 augusti 2010, hämtad den 4 oktober 2010.

¹²Samtal med Pontus Svenmarker, Lunds Tekniska Högskola, oktober 2010

¹³Chopra, Vikas, *Glaucoma Detection using High-speed, High-resolution Fourier Domain Optical Coherence Tomography*, Doheny Eye Institute, USC Keck School of Medicine, tillgängligt på <http://www.oct-optovue.com/oct-glaucoma.pdf>, hämtad 1 november 2010.

¹⁴*Stratus OCT*, <http://www.meditec.zeiss.com/stratussoftware>, hämtad 7 november 2010.

¹⁵*Cardiac optical coherence tomography*, *Heart*, <http://heart.bmj.com/content/94/9/1200/F1.large.jpg>, hämtad 16 november 2010.