

# Invasiivinen kuvantaminen stenoosin arvioinnissa

ANTTI YLITALO

PASI KARJALAINEN

MIKKO PIETILÄ

TUOMAS KIVINIEMI

## Johdanto

Ahtauttavan sepelvaltimotaudin diagnostiikka ja rintakivun syyn selvittäminen tapahtuvat yleensä ei-kajoavien menetelmien avulla. On kuitenkin monia tilanteita, joissa joudutaan käyttämään myös kajoavia menetelmiä. Diagnostiseen koronaariangiografiaan voidaan joutua esimerkiksi silloin, kun sepelvaltimotautia ei voida rasisuskokeen tai isotooppiutkimuksen perusteella osoittaa tai sulkea pois. Angiografiassa todettujen ahtaumien anatomiaa ja fysiologista merkitystä voidaan edelleen tarkemmin selvittää nykyaikaisilla kajoavilla menetelmillä.

## Sepelvaltimoiden varjoainekuvaus

Sepelvaltimoiden varjoainekuvaus (koronaariangiografia) on pitkään ollut referenssimenetelmä sepelvaltimoahtaumien kuvantamisessa (1). Tutkimuksella saadaan kaksiulotteinen kuva suonien sisä-ääriviivasta, josta ahtauma-asteet voidaan arvioida. Suomessa teh-

tiin koronaariangiografioita vuonna 2010 lähes 24 000. Arviolta 20 % näistä tutkimuksista tehdään diagnostisina tilanteissa, joissa oireiden syytä ei ole muilla menetelmillä saatu selville. Tietokonetomografia on vähentänyt diagnostisten varjoainekuvausten määrää, mutta terapeutisia toimenpiteitä ei sen yhteydessä voida tehdä. Koronaariangiografia on siis käytännössä edelleen välttämätön tutkimus, kun selvitetään sepelvaltimoahtaumien soveltuvuutta pallolaajennus-toimenpiteeseen tai ohitusleikkaukseen.

Ahtauma-asteen määrittäminen varjoainekuvauksen yhteydessä perustuu edelleen yleisimmin silmämääräiseen ahtaumaprosentin määrittelyyn. Koska ahtaumaa aiheuttavien muutosten muoto vaihtelee suuresti, tarvitaan luotettavan arvion saamiseksi yleensä useammista suunnista otettuja kuvasarjoja, joista huolimatta arvio ahtauman vaikutuksesta suonen verenvirtaukseen osoittautuu yllättävän usein vääräksi (2). Arviot ahtaumaprosentista eri arviointisijoiden tulkitsemina vaihtelevat huomattavasti ja pelkkä silmämääräinen arvio voikin johtaa ahtauman merkitsevyyden liioitteluun tai aliarviointiin ja näin ollen tarpeettomaan toimenpiteeseen tai aiheellisen toimenpiteen tekemättä jättämiseen (3). Sepelvaltimoiden varjoainekuvauksen tulosten luotettavuutta ja arvion toistettavuutta on pyritty parantamaan kvantitatiivisilla analysointiohjelmilla (kvantitatiivinen koronaariangiografia, QCA), jotka ovat huomattavasti parantuneet niin luotettavuutensa kuin käytettävyytensäkin osalta (kuva 1)(4). QCA on edelleen päivittäiseen potilaskäyttöön sovellettavaksi hidas ja siihen liittyy myös teknisiä virhelähteitä. Menetelmä soveltuu parhaiten tieteellisen tutkimuksen välineeksi.

Tekniikan kehityksen myötä myös kolmiulotteinen (3D) arvio sepelvaltimopuustosta varjoainekuvauksen

perusteella on tullut mahdolliseksi. QCA- ohjelmien käyttö yhdessä 3D-kuvantamisen kanssa voi tulevaisuudessa auttaa suonianatomian ja ahtaumien vaikeusasteen arvioinnissa, mutta niiden käyttö on toistaiseksi vähäistä.

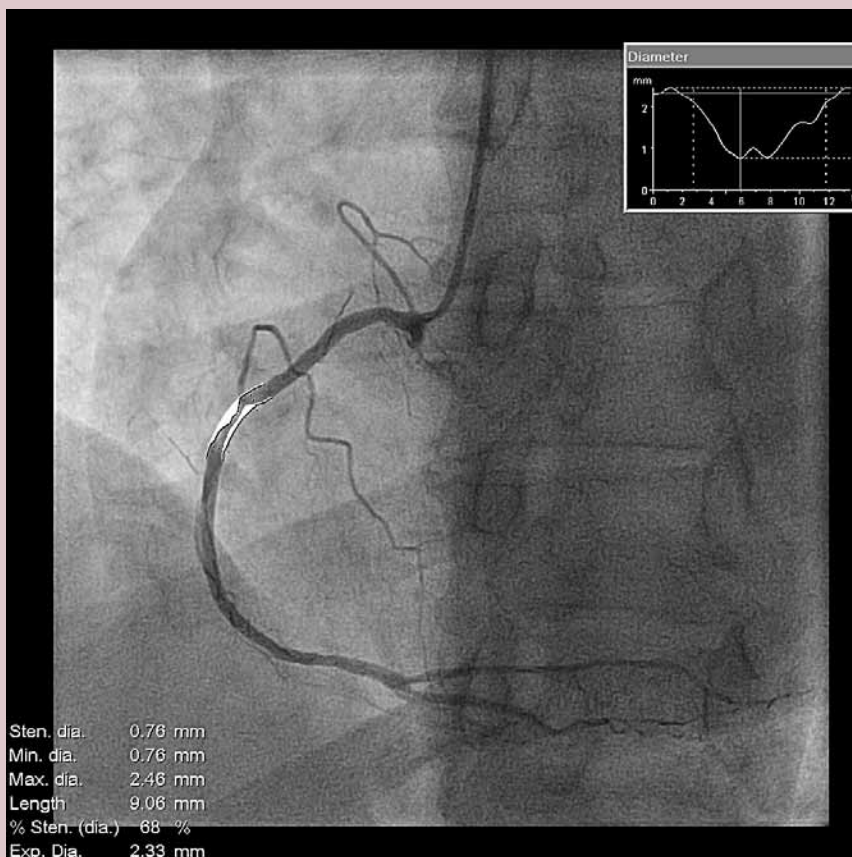
Koronaariangiografiassa todettujen ahtauman piirteiden, kuten ahtauma-alueen pituus, ahtauman sijainti esimerkiksi suonien haarautumiskohdassa tai alussa, useassa eri suonessa sijaitsevat ahtaumat, tiedetään heijastavan sepelvaltimotoimenpiteisiin liittyviä riskejä ja ennustettakin. Tämän vuoksi on kehitetty useita erilaisia pisteytysjärjestelmiä, joilla on pyritty arvioimaan kuvauslöydöksiin liittyvää tapahtumariskiä. Näistä pisteytyksistä laajimmin on käytössä SYNTAX- pisteytys (5), joka huomioi mm. sepelvaltimuutosten levinneisyyden, ahtaumien vaikeusasteen sijainnin ja pituuden sekä kalsifikaation ja mahdolliset hyytymät. Vaikka tämäkin pisteytysjärjestelmä on varsin monimutkainen, kuvaa se varsin hyvin sepelvaltimotaudin vaikeusastetta ja ennustetta mm. vasemman päärungon revaskularisaatiotoimenpiteen jälkeen (6). SYNTAX-tutkimuksessa verrattiin vasemman päärungon ja/tai kolmen suonon sepelvaltimotautia sairastavilla potilailla ohitusleikkauksella ja lääkeaineverkkoputkella saavutettavia tuloksia. Kolmen vuoden seurannan tulosten perusteella erityisesti kor-

kean SYNTAX-pistemäärän saavilla potilailla ohitusleikkauksen näytti olevan parempi hoitomuoto, kun taas pienemmällä SYNTAX- pisteillä eroa hoitotuloksissa ei revaskularisaatiotyypeillä ei seuranta-aikana ollut (7). Näin ollen tämä varjoainekuvaukslöydöksen perustuva pisteytys auttaa myös hoitomuodon valinnassa.

Vaikka sepelvaltimoiden varjoainekuvauksissa syntyvä säderasitus on parhaimmillaan pienehkö, useampia kuvasarjoja kuvattaessa sädekuorma ymmärrettävästi kasvaa. Muita merkittäviä potilaan säderasitukseen vaikuttavia tekijöitä ovat potilaan paino ja useat kuvaustekniset seikat. Keskimäärin sädeannos on 7 mSv luokkaa, vastaten esimerkiksi noin 50 keuhkokuvaa.

### Painevaijerimittaus

Sepelvaltimoiden varjoainekuvauksessa saadaan kohtuullisen hyvä kuva sepelvaltimoiden anatomias- ta, jota voidaan tarvittaessa vielä täydentää IVUS- tai OCT- tutkimuksilla (joita käsitellään myöhemmin tässä katsauksessa). Näilläkin keinoin saadaan kuitenkin vain epäsuoraa tietoa ahtauman vaikutuksesta veren- virtaukseen suonon sisällä. Perinteisesti merkittävän



**Kuva 1.** Kvantitatiivisella koronaariangiografialla (QCA) voidaan arvioida sepelvaltimoah- tauman vaikeusastetta ja pituutta sekä suonon kokoa.

ahtauman rajana angiografiassa on pidetty yli 50 % kaventumaa, mutta ahtauma-asteeltaan 30–70 % kaventumat voivat todellisuudessa olla joko merkittäviä tai verenvirtaukseen olennaisesti vaikuttamattomia. Todellisten hapenpuutetta aiheuttavien ahtaumien yksilöinti on kajoavan sepelvaltimokuvauksen tärkein tavoite, sillä ainoastaan niiden hoito on lääketieteellisesti perusteltua (9, 10). Erityisesti monen suonen taudissa todellista hapenpuutetta aiheuttavien ahtaumien yksilöinti on haastavaa, sillä kajoamattomien tutkimusten perusteella ei usein voida erotella perättäin sijaitsevien tai eri suonitusalueilla olevien ahtaumien suhteellista merkittävyyttä. Hapenpuutetta aiheuttamattomien ahtaumien hoitaminen pallolaajennustoimenpiteellä tai niiden ohittaminen ohitusleikkauksella on paitsi kustannustehotonta myös ennusteen kannalta haitallista (9).

Tällä hetkellä hemodynaamisesti merkittävän ahtauman arvioinnin paras menetelmä on koronaariangiografian yhteydessä painevaijerimittaus, jonka avulla voidaan määrittää painereservi eli fractional flow reserve (FFR) (kuva 2). FFR on validoitu kolmen eri hapenpuutetta osoittavan kajoamattoman menetelmän (kliininen rasiuskoe, dobutamiini-rasitusultraäänitutkimus, tallium-isotooppirasituskoe) ja sepelvaltimoiden varjoainekuvauksen avulla. FFR lasketaan suonia

laajentavan adenosiniirasiuksen aikana jakamalla ahtaumakohdan distaalipuolen verenpaine (Pd) aortan verenpaineella (Pa):

$$FFR = P_d / P_a$$

FFR-arvo kuvaa kuinka paljon epikardiaalisen suonen ahtauma pienentää verenpainetta verrattuna aortasta mitattuun verenpaineeseen. Teoreettinen normaaliarvo ahtautumattomassa suonessa on aina 1.0 ja on riippumaton siitä, mistä sepelvaltimostaon kyse, suonen tai suonitusalueen koosta tai systeemiverenpaineesta. Hemodynaamisesti merkittävän ahtauman raja-arvo on alle 0.75. FFR arvot >0.80 poissulkevat merkittävän ahtauman luotettavasti 90 % todennäköisyydellä, mutta arvot 0.75–0.80 sen sijaan ovat raja-arvoisia (11).

Angiografiassa tiukankaan näköinen ahtauma ei välttämättä ole hemodynaamisesti merkittävä, mikäli sepelvaltimo suonittaa vain pientä aluetta sairastetun sydäninfarktin jälkeen, koska hapentarve alueella on pienentynyt sydänlihaskuolion vuoksi. FFR:n etuna angiografiaan verrattuna on, että ahtauman takana



**Kuva 2.** Oikean sepelvaltimon varjoainekuvauksessa (A) näkyvät ahtaumat alku, keski ja loppuvaiheilla (nuolet). Kajoamattomassa PET-perfuusiotutkimuksessa oikean sepelvaltimon suonitusalueella oli alentunut perfuusio viitaten hapenpuutteen rasiuksen aikana. Distaalisen ahtauman vaikutus silmämääräisesti kireältä, mutta kaksi proksimaalisempaa kaventumaa on ahtauma-asteeltaan raja-arvoiset. Tutkittavalle tehtiin painereservimittaus vetokäyränä adenosini-infusion aikana (B). Käyrän vasemmanpuoleisessa laidassa nähdään selkeä paine-ero distaalisisman ahtauman takana ( $P_d$ ) verrattuna aorttapaineeseen ( $P_a$ ): FFR arvo oli  $59/94 = 0.63$ , joka on merkittävä (raja-arvo <0.75). Kun painevaijeri vedetään distaalisisman ahtauman proksimaalipuolelle, merkittävä paine-ero häviää. Näin ollen kaksi proksimaalisempaa ahtaumaa ei ole hemodynaamisesti merkittäviä.

olevan suonitetun elossa olevan sydänlihaksen määrä vaikuttaa mittaukseen. Mittaus ottaa myös siltasuonien (eli kollateraalien) ja mahdollisten ohitesuonien kautta tulevan virtauksen huomioon.

FFR-mittauksessa sepelvaltimon maksimaalinen laajeneminen aikaansaadaan joko laskimonsisäisellä adenosini-infuusiolla (0.14mg/kg/min) tai suoraan sepelvaltimoon annettavalla riittävällä adnosiiniboluksella (30–80µg). Infuusio on suositellumpi vaihtoehto, koska sillä saadaan tasaisempi maksimaalinen sepelvaltimoiden laajeneminen ja se soveltuu paremmin samassa suonessa olevien perättäisten ahtaumien keskinäiseen arviointiin. Lisäksi sepelvaltimon suuaukonkaan kaventuma ja siihen liittyvä ohjainkatetrin mahdollisen tulppaaminen ei rajoita toimenpidettä. Adenosinin aiheuttama sykkeen hidastuminen ja lyhytkestoinen eteiskammiosolmukkeen katkos ovat merkkejä siitä, että lääkeannos on ollut riittävä. Laskimonsisäisesti annettu adenosini-infuusio voi aiheuttaa ohimeneviä sivuvaikutuksia, kuten hengenahdistusta tai kasvojen ja ihon punoitusta. Yleensä infuusio on hyvin siedetty ja sivuvaikutukset menevät ohitse nopeasti infuusion lopettamisen jälkeen.

Oikein suoritettuna painevaijerimittaus on luotettava merkittävän ahtauman osoittaja. FFR-mittaukseen liittyy kuitenkin muutamia rajoituksia. Akuutin ST-nousuinfarktin yhteydessä tukossa olleen suonen mikrosirkulaatiota ei välttämättä saada maksimaalisesti laajentumaan distaaliembolisaation tai akuuttitilanteessa vaikuttavan sytokiinimyrskyn vuoksi, ja kyseisen suonen FFR mittaus jää epäluotettavaksi (10). Tässä tilanteessa FFR:aa voidaan kuitenkin käyttää muiden kuin plakkiruptuurasuonen ahtaumien mittaamiseen. Sairaana sepelvaltimon vaijerointi saattaa aiheuttaa spasmia, jonka takia sepelvaltimoon annetaan boluksena nitroa 200 µg ennen toimenpidettä (12).

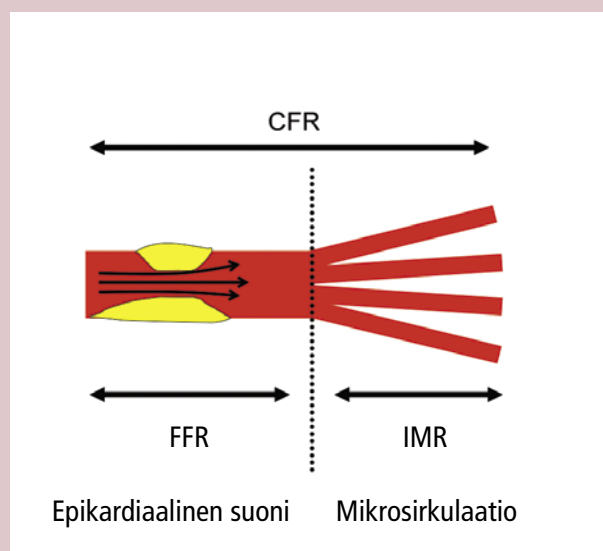
### Sepelvaltimon virtausreservin mittaus

Sepelvaltimon virtausreservi (coronary flow reserve, CFR) on painevaijerimittauksista vanhempi menetelmä ahtaumien arviointiin (13). Se kuvaa sepelvaltimon maksimaalisen verenvirtauksen suhdetta lepovirtaukseen (kuva 3). CFR:n normaalirajana palautuvan hapenpuutteen osoituksessa pidetään yleisesti <2.0 arvoja. CFR voidaan määrittää sekä kajoamattomilla (PET-perfuusio ja isotooppiperfuusio, rintakehän päältä suoritettava sepelvaltimovirtausmittaus) että kajoavilla menetelmillä (sepelvaltimon sisäinen Doppler-ultraääni ja termodiluutiomenetelmät). Toisin kuin FFR-mittauksessa, CFR-mittauksessa mikrosirkulaation poikkeava laajeneminen ja välillisesti myös endoteelin toimintahäiriö vaikuttavat suureeseen. Mikäli epikardiaalisessa sepelvaltimossa on ahtauma, CFR kuvaa tämän ahtauman toiminnallista merkittävyyttä. Mikäli ahtaumaa ei ole, CFR kuvaa mikrosirkulaation laajenemisvastetta. Normaali CFR>2.5 sulkee pois sekä hemodynaamisesti merkittävän ahtauman että mikrosirkulaatiohäiriön. Koska matalat arvot saattavat johtua joko merkittävästä ahtaumasta tai mikrosirkulaation toimintahäiriöstä, on CFR:n mittaus kliinisen tutkimuksen yhteydessä ollut vähäistä.

CFR voidaan mitata suoraan suonensisäisellä Doppler-ultraäänikatetrilla tai epäsuorasti painevaijerin avulla FFR-mittauksen yhteydessä. Painevaijerilla tehtävä mittaus perustuu termodiluutiomenetelmään, jossa vaijerin päässä olevan lämpöanturin avulla saadaan keittosuolaboluksen aikana epäsuorasti mitattua sepelvaltimovirtaus. Virtausreservi lasketaan adenosini-infuusion aiheuttaman virtausnopeuden kasvun perusteella

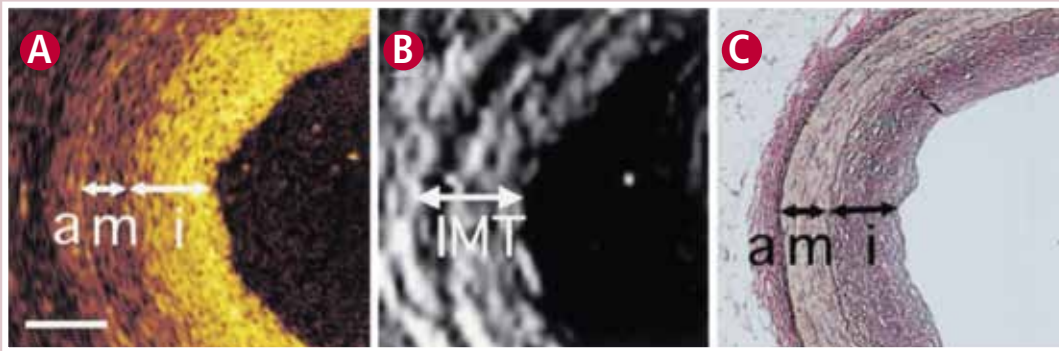
Mikäli halutaan tutkia erikseen mikrosirkulaation toimintaa, voidaan sepelvaltimovirtauksen ja paineen yhdistelmällä laskea mikrosirkulaation vastusindeksi (index of microcirculatory resistance, IMR) (kuva 3). IMR on toistaiseksi lähinnä tutkimuskäytössä.

Mikäli halutaan tutkia erikseen mikrosirkulaation toimintaa, voidaan sepelvaltimovirtauksen ja paineen yhdistelmällä laskea mikrosirkulaation vastusindeksi (index of microcirculatory resistance, IMR) (kuva 3). IMR on toistaiseksi lähinnä tutkimuskäytössä.

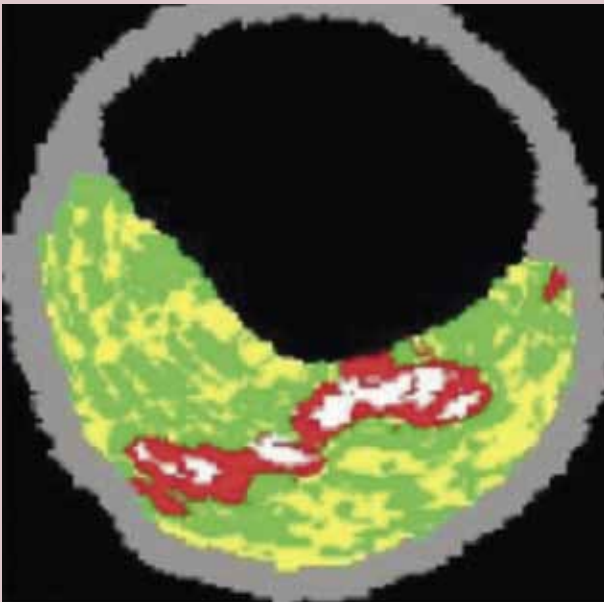


**Kuva 3.** Sepelvaltimoiden fysiologian arviointi invasiivisesti. Sepelvaltimon virtausreservi (CFR) kuvaa sekä epikardiaalisen että mikrosirkulaation (pienet valtimot ja arteriolit) toimintaa. Painereservillä (FFR) arvioidaan epikardiaalisen suonen ahtauma hemodynaamisesta merkitystä. Paine ja virtausmittaus yhdistämällä saadaan mikrosirkulaation vastusindeksi (IMR).





**Kuva 4.** Normaalin sepelvaltimon seinämässä nähdään kolme kerrosta (a=adventitia, m=media, i=intima) erilaisilla kuvantamismenetelmillä (A. OCT, B. IVUS ja C. Histoginen kuva samasta kohdasta). IMT=intimal media thickness



**Kuva 5.** Ultraäänisignaalin spectrianalyysi (VH, virtual histology) parantaa kudostyyppien erottelua. Vasemmalla tavallinen IVUS kuva ja oikealla vastaava VH-kuva, jossa nähdään kalkkinen sepelvaltimoplakki. Kalkki aiheuttaa voimakkaan kaiun ultraäänikuvassa, mikä näkyy valkoisena värinä VH-kuvassa.

### Sepelvaltimon sisäinen kaikututkimus

Sepelvaltimon seinämää voidaan tarkastella suonensisäisellä kaikututkimuksella (IVUS), jolla saadaan kohdalaisen tarkkaa tietoa sepelvaltimoiden ateroomapestäkkeistä sekä ahtaumien vaikeusasteesta, pituudesta

ja sijainnista suhteessa sivuhaaroihin. Tutkimuksen erottelukyky on 100–200 µm, mikä riittää myös ateroskleroosin koostumuksen arviointiin. Tutkimuksella voidaan nähdä sepelvaltimoiden eri kerrokset, intima, media ja adventitia (kuva 4). Lipidipitoiset ja kalkkiset plakit voidaan myös erottaa kohtalaisen hyvin tavallisella harmaasävyultraäänitutkimuksella. Tarkempaan plakin karakterisointiin päästään menetelmällä, jossa IVUS tutkimukseen on liitetty kudoksesta heijastuvan ultraäänisignaalin spektrianalyysi (virtual histology, VH). Tämä erottelee eri kudostyyppisiä paremmin toisistaan (kuva 5) ja ohutkattainen hauras plakki (TCFA=Thin-Cap FibroAtheroma) voidaan paremmin tunnistaa (14). Kudospenetraatio on 4–8 mm luokkaa, joka riittää sepelvaltimon todellisen koon ja plakkitilavuuden arviointiin kohtuullisen hyvin. Plakkitilavuutta on käytetty ateroskleroosin asteen mittarina, mutta kliinisessä käytännössä tällä on vähemmän merkitystä.

IVUS-tutkimuksen pääasiallisiksi käyttöaiheiksi ovat muotoutuneet pallolaajennustoimenpiteiden suunnittelu ja stenttaustuloksen varmistaminen vasenta päärunkoa tai merkittävien suonten haarauma-ahtaumia hoidettaessa. IVUS:sta käytetään myös silloin, kun angiografia ei ole diagnostinen tai löydösten ja kliinisen tilanteen välillä esiintyy ristiriitaa, esimerkiksi sepelvaltimoiden eksentrisiä tai ostiaalisia ahtaumia epäiltäessä.

### Valokerroskuvaus

#### Valokerroskuvauksen perusteet ja tutkimuksen suorittaminen

Valokerroskuvaus (OCT, Optical Coherence Tomography) on IVUS:ta vastaava menetelmä, jossa ultraäänin sijasta käytetään valoa. Sepelvaltimon poikkileikkauksikuva saadaan, kun laservalolähteestä lähetetään

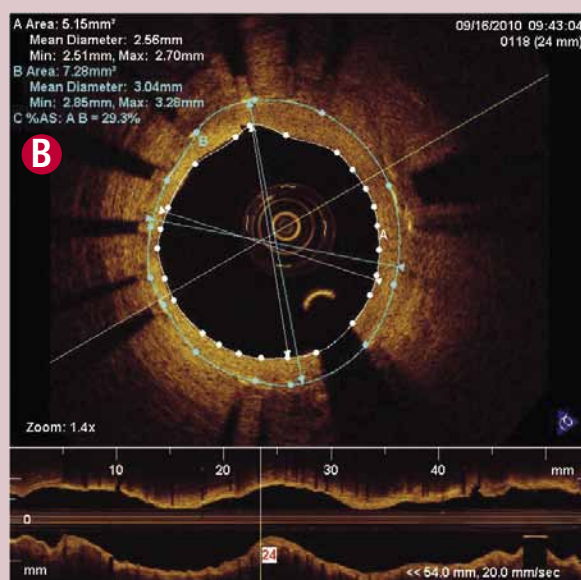
infrapunavaloa kuituoptista katetria pitkin ja mitataan suonen seinämästä takaisin heijastuneen valon voimakkuutta ja viivettä. Valon aallonpituus on ultraääntä huomattavasti lyhyempi, mikä parantaa huomattavasti erotuskykyä ja menetelmän avulla saadaan lähes mikroskooppisen tarkkoja kuvia suonen seinämästä. Erotuskyky on yli 10 kertaa ultraäänitutkimusta parempi, samalla tunkeutuvuus kudokseen on kuitenkin vähäisempää (15).

OCT-kuvaus suoritetaan tavanomaisen pallolaajennuksessa käytettävän ohjainkatetrin kautta. Sepelvaltimoon asetettua vaijeria pitkin viedään ohut (2.6F) kuvantamiskatetri tutkittavan alueen distaalipuolelle. Katetriin liitetty konsoli tekee automaattisen vedon samalla, kun kuituoptinen katetri pyörii nesteellä täytetyn polymeerikatetrin sisällä. Kuvantaminen ei onnistu veren läpi. Nykyisellä kaupallisesti saatavilla olevalla laitteistolla (C7, Lightlab Imaging, St Jude) sepelvaltimoa ei tarvitse sulkea pallokatetrilla, kuten vanhemmilla laitteistoilla, vaan kuvaus suoritetaan varjoaineruiskutuksen aikana. Laite hyödyntää Fourier Domain-menetelmää, joka mahdollistaa hyvin nopean tiedonkeruun (100 frames/s). Yhden (tavallisesti noin 15 ml) varjoaineruiskutuksen aikana saadaan 54 mm sepelvaltimoa kuvannettua 2.7 sekunnissa.

OCT-kuvaus on todettu turvalliseksi. Kuvauksessa käytettävät energiat ovat pieniä (5–8 mW), joten tutkimus ei sinänsä aiheuta kudonvaurioita. Tutkimuksen turvallisuus riippuu lähinnä sydänkatetrisaatioon yleisesti liittyvistä riskeistä sekä siitä, minkä verran sydänlihaksen hapenpuutetta syntyy kuvauksen aikana. Lyhyen kuvausajan ja ultraäänikatetria ohuemman kuvantamiskatetrin takia iskeemiset tapahtumat ovat harvinaisia. Lisävarjoaineen tarve pitää ottaa huomioon munuaisten vajaatoimintaa sairastavilla potilailla (16).

### Sepelvaltimoahtauman arviointi ennen stenttausta

Kuten IVUS- tutkimuksella, OCT:lla voidaan arvioida sepelvaltimon lumenin pinta-ala (minimal lumen diameter), ahtauma-aste ja sisäkerroksen paksuuntumat, mutta selvästi aiempaa tarkemmalla erotuskyvyllä (kuva 6A). Koska valon tunkeutuvuus kudokseen ja syvemmällä sijaitsevaan lipidiytimeen (Lipid necrotic core) on ultraääntä huonompi, ei plakkitilavuuden arviointi käytännössä onnistu. Näistä syistä OCT-tutkimuksessa luotetaan absoluuttisiin pinta-alamittauksiin, eikä ahtauma-astetta arvioitaessa voida käyttää vertailussa suonen todellista kokoa, kuten on ollut käytäntönä IVUS-tutkimuksissa. Lisäksi sivuhaarojen ostiumit näkyvät hyvin noin 2 mm matkalta, mikä edelleen helpottaa stenttauksen suunnittelua. Suonen poikkileikkauksia arvioitaessa on otettava huomioon, että OCT-tutkimuksella saadut mitat ovat noin 30 % pienempiä



**Kuva 6. A.** OCT-laite analysoi automaattisesti sepelvaltimon lumenin pinta-alan (3.47 mm<sup>2</sup>). Kuvassa nähdään myös nuolilla ympyröity fibroottinen ateroomaplakki. Ohjainvaijerin aiheuttama katve nähdään klo 12. **B.** Stenttauksen jälkeen voidaan laskea neointiman pinta-ala (2.14 mm<sup>2</sup>) ja arvioida ahtauma-aste (29 %).

IVUS-tutkimuksella saatuihin mittoihin verrattuna. Tämän takia IVUS-tutkimuksista tuttuja suonen pinta-alan raja-arvoja ei suoraan voi käyttää OCT-tutkimuksissa. Mittaustarkkuus on OCT-tutkimuksessa kuitenkin selvästi parempi ja hajonta toistettujen mittausten välillä pienempi IVUS-tutkimukseen verrattuna.

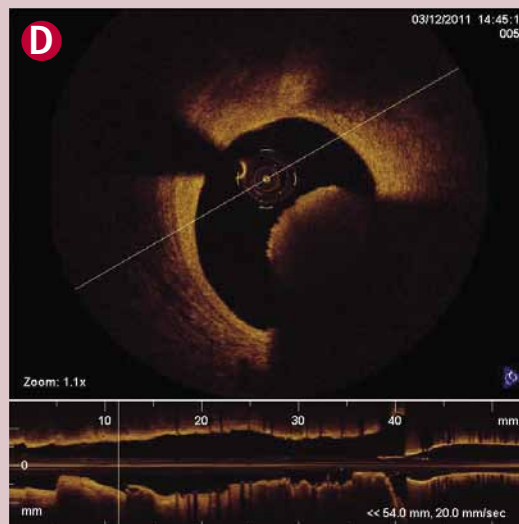
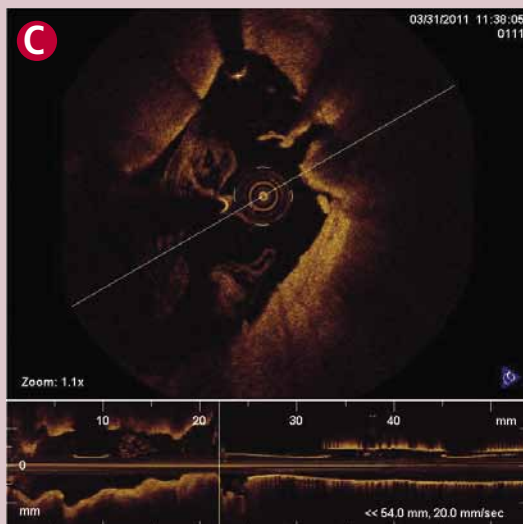
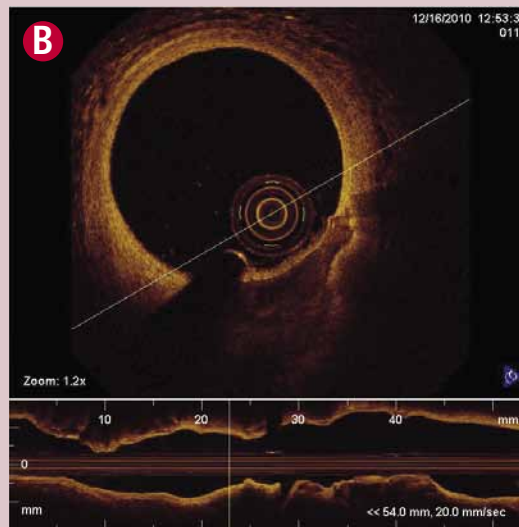
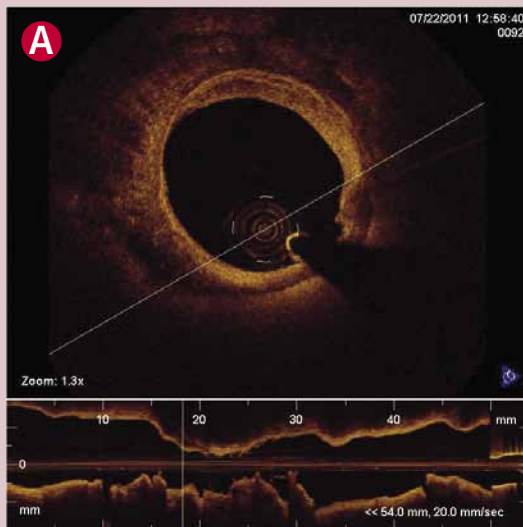


Kalkkikertymät näkyvät hyvin OCT-tutkimuksessa (kuva 7 A). Valo läpäisee helposti kalkkisen leesioon ja kalkin takana olevat rakenteet näkyvät hyvin, eikä IVUS-tutkimukselle tyypillistä katvetta esiinny. Tämän takia OCT-tutkimus soveltuu hyvin kompleksien kalkkisten ahtaumien arviointiin ja stenttauksen suunnitteluun.

### Sepelvaltimotautikohtauspotilaan valokerroskuvaus

Sepelvaltimokohtauksen tärkein syy on sepelvaltimon plakin haurastuminen ja siihen liittyvä plakin eli fibroaterooman trombosoituminen. Sepelvaltimoplakin päällä oleva sidekudoskatto (Fibrous cap) näkyy erinomaisen hyvin (kuva 7 B) ja sen paksuus voidaan tarkasti mitata OCT-tutkimuksella. Sidekudoskaton alle 65 µm paksuus on tutkimuksissa osoitettu assosioitunut plakkiruptuuraan. OCT-tutkimuksella on voitu osoittaa, että ST-nousuinfarktipotilailla rasituksen yhteydessä ruptu-

roituneiden plakkien keskipaksuus on ollut 90 µm ja levossa rupturoituneiden 50 µm. Plakkiruptuuraan liittyvä trombin muodostus näkyy hyvin OCT-tutkimuksessa. Erikseen voidaan havaita löyhä vastasyntynyt verihiuataleita sisältävä valkoinen trombi (kuva 8 C) tai jo fibriniiniä sisältävä punainen trombi (kuva 7D). Toisinaan voidaan havaita vähäistä tromboosia ilman merkkejä alla olevan endoteelin rupturoitumisesta, jolloin kyseessä voi olla plakin eroosio ja siihen liittyvä plakin katon inflammaatio. OCT-tutkimuksen resoluutio ei kuitenkaan riitä alle 10 µm ohuen endoteelin kuvantamiseen. Inflammaation määrää on tutkimuksissa arvioitu kirkkaana näkyvien makrofagi-kertymien avulla. OCT-tutkimuksella voidaan siis tarkasti paikantaa rupturoitunut plakki, joka ei läheskään aina näy varjoainekuvauksessa. Toisaalta tromboosin arvioimisella voi olla merkitystä valittaessa sopivia välineitä trombimassan poistamiseen sepelvaltimosta toimenpiteen yhteydessä sekä mietittäessä antitromboottisen lääkehoidon intensiteettiä ja kesto.



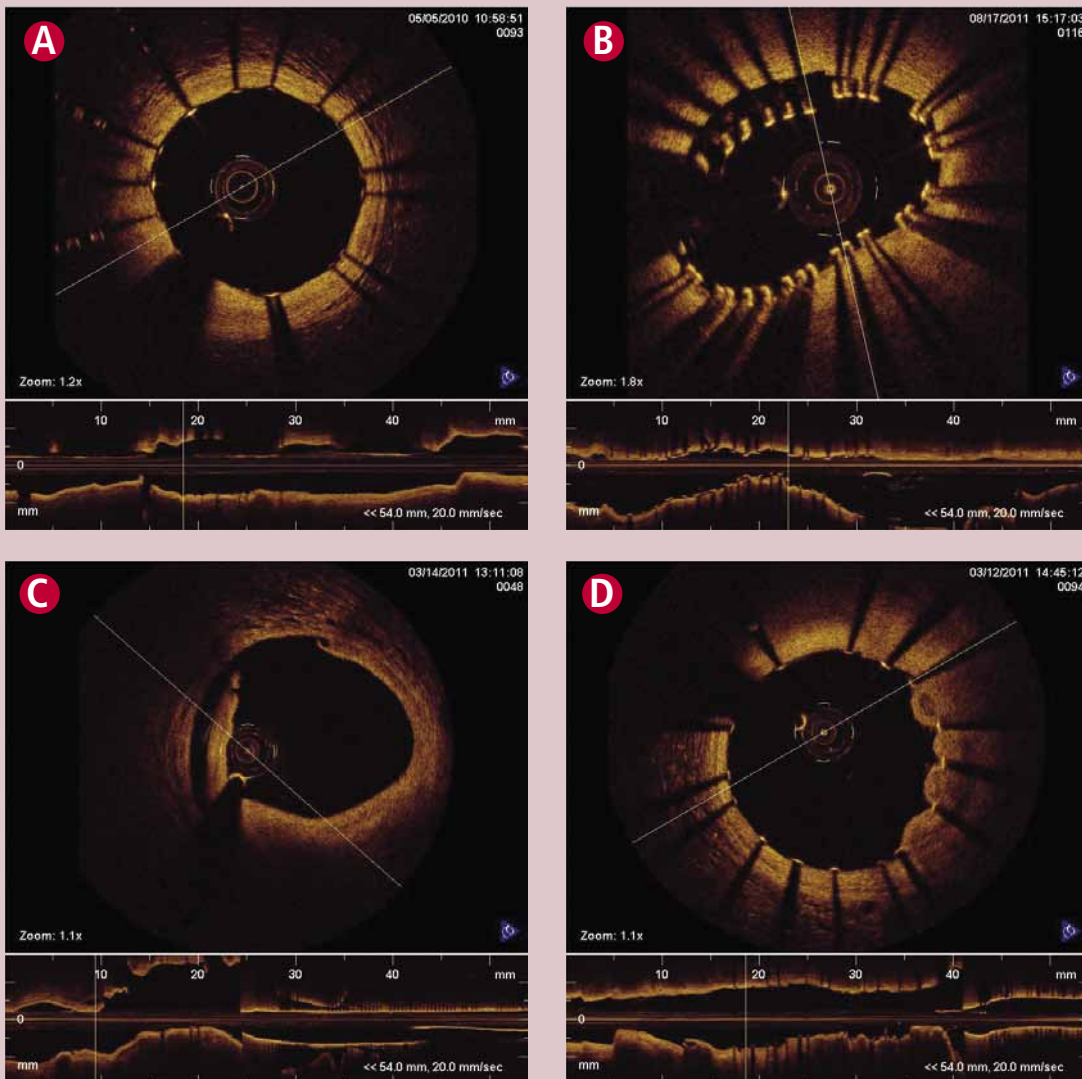
**Kuva 7.** A. Koko sepelvaltimoa ympäröi kalkkinen plakki, joka estää tavallisen pallolaajennustoimenpiteen tekemisen. B. Hauras plakki, jonka katto ohut ja pinnassa nähdään vähäistä tromboosia. C. Plakkiruptuura ja tromboosi voidaan tarkasti paikantaa. D. Fibriniipitoinen punainen trombi ei päästä valoa lävitse ja trombin taakse tulee tyypillinen katvealue.

## Tuloksen arviointi välittömästi stenttauksen jälkeen

OCT-tutkimuksella saadaan huomattavasti IVUS-tutkimusta tarkemmin selville stentin asettuminen ja laajeneminen sepelvaltimon seinämään (kuva 6 B ja 8A). Stentin kontaktilla valtimoon ja alilaajennuksella (malappositio) voi olla erityistä merkitystä akuutteja ja myöhäisiä stenttitrombooseja ajatellen (kuva 8 B). Johtuen hyvästä erotuskyvystä sepelvaltimon seinämän dissekoitumat, joko stentin sisällä tai stentin päissä ("edge dissection"), ovat hyvin yleisiä löydöksiä OCT-tutkimuksissa (88 %) verrattuna IVUS-tutkimuksiin (10 %) (kuva 8 C). Näiden löydösten kliinisestä merkityksestä ei kuitenkaan ole vielä riittävästi tietoa. Myös kudosprolapsit ja paikallisesti stentin sisälle tai stenttistrutteihin syntyneet hyytymät näkyvät OCT-tutkimuksessa selvästi (kuva 8 D).

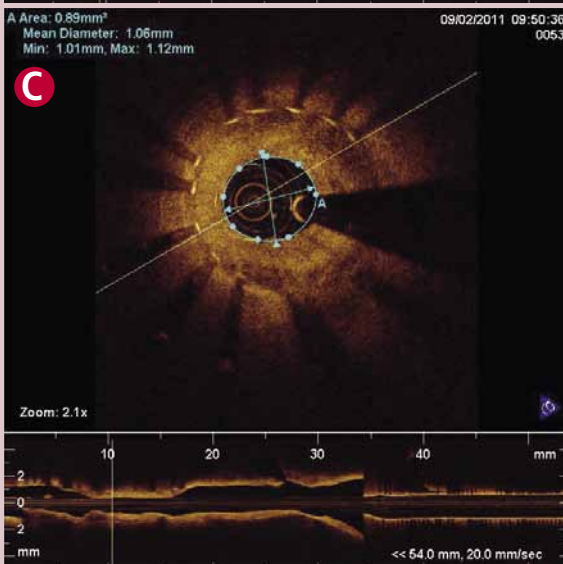
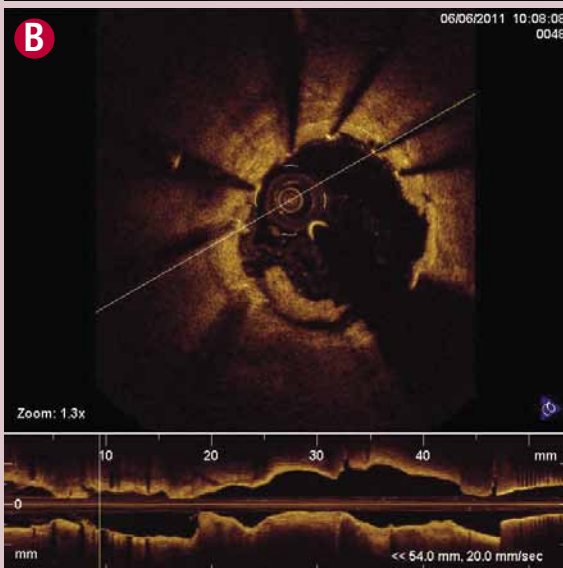
Arviolta 20 % sepelvaltimo-ahtaumista sijaitsee sivuhaaran kohdalla. Stentin asentaminen haaraumakohtien

ahtaumiin on aina haasteellista ja sekä stenttitromboosin että uudelleenahtauuman riski on tavallista suurempi. Stenttausta suunniteltaessa on erityisen tärkeää tietää ahtauma-alueen geometria, ahtaumien todellinen merkittävyys ja sijainti suhteessa pää- ja sivuhaaraan, ahtaumien kalkkeuma-aste, esilaajennuksen riittävyys, sivuhaaran stenttauksen tarpeellisuus sekä ennen kaikkea stentin asettuminen sepelvaltimon seinämää vasten. OCT-tutkimus antaa näiden yksityiskohtien selvittämiseen erinomaisen mahdollisuuden. Tutkimustietoa yksittäisten tekijöiden, kuten stentin malapposition, vaikutuksista potilaan pitkäaikaisennusteeseen ei vielä ole. On kuitenkin syytä olettaa, että stentin koon alimitoitusta ja stentin alilaajentamista, stenttirakenteen turhaa rikkomista tai merkittävää struttien malappositiota pitää välttää. Stenttauksen optimoinnista OCT-tutkimusta apuna käyttäen on tulossa lisätietoa useissa tutkimuksissa ja käytännössä nykyisin kaikki uudet stentit testataan OCT-tutkimuksen avulla ennen markkinoille tuloa.



**Kuva 8.** A. Välittömästi toimenpiteen jälkeen nähdään hyvin appositiossa oleva stentti. B. Malappositioon jääneet stenttistrutit näkyvät selkeästi. C. Laajennuspallo on aiheuttanut stentin päähän pienen itimarepeämän (edge dissection). D. ST-nousufarktipotilaan sepelvaltimostenttauksen jälkeen nähdään fibriniä sisältävän punaisen trombin pullistuminen stenttin struttien välistä.





**Kuva 9. A.** Pitkäaikaisseurannassa 18 kuukautta lääkestenttien asentamisen jälkeen nähdään sepelvaltimon uudelleen muovautumista. **B.** Osa tämän lääkestenttien struteista on edelleen paljaana 3 vuotta asennuksen jälkeen ja stenttiin on kiinnittynyt trombia. **C.** Tavallinen metallistentti on ahtautunut uudelleen (restenoosi) jo kuukauden kuluttua toimenpiteestä.

### Pitkäaikaistulosten arviointi stenttauksen jälkeen

Stentin ja suonen seinämän keskinäistä suhdetta ja sepelvaltimon paranemista pitkällä aikavälillä voidaan tarkasti tutkia OCT-kuvauksella (kuva 9 A–C). Resoluutio riittää hyvin yksittäisten stentin struttien kuvantamiseen. Stentin malappositio nähdään helposti, mutta syitä voidaan usein vain arvailla. Malappositio voi johtua mm. stentin alilaajennuksesta primaaritoimenpiteessä, stentin palautumisesta pienempään mitaan (recoil), suonen uudelleen muovautumisesta ja siitä johtuvasta läpimitan kasvusta tai stentin ja seinämän väliin jääneen trombin häviämisestä akuutin tilanteen jälkeen. Suonen seinämästä irrallaan oleva stentti aiheuttaa pyörteistä veren virtausta, joka puolestaan aktivoi verihiihtaleita ja voi aiheuttaa tromboosia. ■

*Antti Ylitalo*  
dosentti, kardiologi, sydänyksikön ylilääkäri  
Satakunnan keskussairaala

*Pasi Karjalainen*  
dosentti, kardiologi  
Satakunnan keskussairaala

*Mikko Pietilä*  
LT, kardiologi  
TYKS, Sisätautien klinikka

*Tuomas Kiviniemi*  
LT, kardiologiaan erikoistuva lääkäri  
TYKS, Sisätautien klinikka