

TEEMANUMERO

Sydämen kuvantaminen

Toim. Riitta Paakkanen, Sanna Laurila, Saara Sillanmäki

Sydänääni

1A

2026
VUOSIKERTA
37

Ilmoitus

Ilmoitus

SYDÄNÄÄNEN TEEMANUMERO

Sydämen kuvantaminen

PÄÄKIRJOITUS

Riitta Paakkanen, Sanna Laurila, Saara Sillanmäki 126

LUKU 1

Sydänkuvantamisen uudet tuulet ja tutkimus

Saara Sillanmäki, Valtteri Uusitalo, Suvi Tuohinen, Juhani Knuuti, Tiina Ojala 128

LUKU 2

Sepelvaltimotaudin kuvantaminen

Maria Istomina, Juha Vornanen, Antti Eranti, Teemu Maaniitty 135

LUKU 3

Vajaatoiminta- ja kardiomyopatiapotilaiden kuvantaminen

Riitta Paakkanen, Elina Kariniemi, Marjo Okkonen, Markku Pentikäinen, Tiina Heliö 144

LUKU 4

Läppäsairauksien kuvantaminen kliinisessä työssä – multimodaalinen lähestymistapa

Olga Horosh, Kadri Joosti, Jarkko Piuholta, Antti Saraste 154

LUKU 5

Sydämen inflammaation kuvantaminen

Suvi Hartikainen, Riitta Paakkanen, Jukka Lehtonen, Valtteri Uusitalo, Miia Holmström,

Pauli Pöyhönen 168

LUKU 6

Rytmihäiriöpotilaan kuvantaminen

Saara Sillanmäki, Juhani Juntila, Marja Hedman 177

LUKU 7

Tahdistinpotilaan kuvantaminen

Jarkko Karvonen, Heli Tolppanen, Harri Silvola, Aino-Maija Vuorinen 184

LUKU 8

Toimenpidekuvantaminen katetriteitse tehtävissä läppätoimenpiteissä

Marko Virtanen, Jarkko Piuholta, Kari Kervinen, Helena Rajala, Antti Saraste,

Suvi Tuohinen, Mikko Jalanko 192

LUKU 9

Operatiiviseen hoitoon liittyvä kuvantaminen

Helena Rajala, Peter Raivio, Matias Rantanen, Antti Valtola, Riitta Paakkanen 199

LUKU 10

Keuhkokuvan muuttuva rooli – eri erikoisalojen näkemyksiä

Riitta Paakkanen, Ari Moilanen, Aino-Maija Vuorinen, Jani Mononen, Ollipekka Kailari 208

LUKU 11

Tekoäly ja sen käyttö kuvantamisessa nyt ja huomenna

Suvi Syväranta, Juha Peltonen, Riitta Paakkanen 216



Julkaisija

Suomen Kardiologinen Seura

Yhteystiedot ja osoitteenmuutokset

Sepänkatu 20, 90100 Oulu

Puh. 050 430 4158

fcs@fincardio.fi

tuija.ranta@fincardio.fi

jaana.kemppainen@fincardio.fi

maiju.pikkarainen@fincardio.fi

Internet: www.fincardio.fi

Päätoimittaja

Sanna Laurila

Kardiologian erikoislääkäri, LT

TYKS Sydänkeskus

Hämeentie 11, 20520 Turku

sanna.laurila@varha.fi

Puh. 02 313 3176

Toimittajat

Anette Eskuri, Oulu

Toni Grönberg, Turku

Tuula Meinander, Tampere

Riitta Paakkanen, Helsinki

Jarkko Hytönen, Kuopio

Juha Koskinen, Kotka

Toimituskunta

Anita Arola, Marja Hedman, Anna-Mari

Hekkala, Erkki Ilveskoski, Riina Kandolin,

Seija Kerkelä, Tuomas Kiviniemi,

Maiju Pikkarainen, Tero Pinola,

Hanna Pohjantähti, Saara Sillanmäki

Taitto ja ulkoasu

Grano Oy

Painopaikka

Grano Oy

Painos 1045 kpl

37. vuosikerta

ISSN 0788-0227 (painettu)

ISSN 3087-6451 (verkkojulkaisu)

Sydänääni ilmestyy kolme kertaa vuodessa

1. numero maaliskuussa

2. numero syyskuussa

3. numero joulukuussa

Lisäksi kerran vuodessa ilmestyy

teemanumero

ja ylimääräinen numero

tiedottamisen vaatiessa.

Materiaalin toimitus

Mainokset (sähköisellä latauslomakkeella):

<https://www.grano.fi/ilmoitukset>

Kannatusjäsenilmoitukset:

Kardiologisen Seuran toimisto

Artikkelit/jutut: päätoimittaja

Käsikirjoitukset

sähköpostin liitteenä tai USB-muistikulla.

HUOM! Ei muokkauksia (tavutus, palstoitus

tms.) tekstiin. Hyväksyttävät kuvatiedosto-

muodot:

TIFF, JPG tai PDF.

Ilmoituspaikat

I kansi: etukansi 150 x 200 mm

II kansi: 210 x 297 mm

III kansi: 210 x 297 mm

IV kansi: takakansi 210 x 230 mm

Sisäsivut: 210 x 297 mm



VERTAISARVIOITU

KOLLEGIALT GRANSKAD

PEER-REVIEWED

www.tsv.fi/tunnus

Hyvä lukija

Edessäsi on Sydänäänän historian toinen teemanumero sydänkuvantamisesta. Edellisen kerran teemanumero julkaistiin tästä aiheesta vuonna 2012, ja silloin teemoina olivat sepelvaltimotauti, vajaatoiminta ja synnynnäiset sydänsairaudet. Viime vuosien valtava teknologinen kehitys näkyy myös nykyisessä teemanumerossa: olemme saaneet 11 artikkelia, jotka kattavat suuren osan kardiologiasta, kuvantamisen näkökulmasta. Sydänkuvantamista käytetään tautien esiasteiden havaitsemiseen (esimerkkinä kardiomyopatiat), sairauksien diagnosointiin (esimerkkeinä kardiologian kivijalat eli sepelvaltimotauti, sydämen vajaatoiminta ja läppäviat) ja hoitoon (kuten tahdistinhoitoon liittyvä ja toimenpidekuvantaminen) sekä hoidon seurantaan ja ohjaamiseen (inflammaation kuvantaminen, kirurgiaan liittyvä kuvantaminen).

”Ennen” eri sydänkuvantamisen modaliteetit ovat olleet tiukemmin eri erikoisalojen käsissä. Karkeasti yksinkertaistaen voi muistella, että kardiologit suorittivat angiografiat ja ultraäänitutkimukset, radiologit sydämen magneettitutkimukset ja tietokonetomografiat ja kliiniset fysiologit ja isotooppilääketieteen osaajat isotooppikuvantamisen, vaikka vaihtelua ja poikkeuksia tähän yleistykseseen on aina toki ollut. Kehityksen ja uuden sydänkuvantamisen lisäpätevyyden myötä nämä erikoisalojen ja modaliteettien rajat hämärtyvät ja asiantuntijat voivat oppia valtavasti uutta toisiltaan.

Sydänkuvantaminen yhdistää myös kuvantajia ja klinikoita. Olemmekin pyrkineet tekemään tästä teemanumerosta mahdollisimman käytännönläheisen, jotta eri aloilla sydänpotilaita hoitavat ammattilaiset voivat saada käsityksen nykykuvantamisen mahdollisuuksista. Olemme saaneet tähän teemanumeroon kirjoittajiksi sydänkuvantajien lisäksi invasiivikardiologeja, toimenpidekardiologeja, kirurgeja, anestesiologin, akuuttilääkärin, fyysikon, tahdistinlääkäreitä, rytmihäiriöosaajia, sydämen vajaatoiminnan ammattilaisen, sarkoidoosiasiantuntijan, kardiomyopatioiden asiantuntijan ja keuhkolääkärin. Siis paljon eritaustaisia ihmisiä, joiden kanssa on ollut hienoa tehdä yhteistyötä.

Viimeisin asia, jonka haluaisimme nostaa esiin sydänkuvantamisesta, on sen mielenkiintoinen tulevaisuus. Niin tekoäly, uudet teknologiset mahdollisuudet kuin tutkimuskin tuovat meille varmasti lähiaikoina vielä hyvin paljon uusia mahdollisuuksia ja sovelluksia. Emme edes uskalla ajatella, kuinka erilainen sydänkuvantamisen teemanumero seuraavan neljän-toista vuoden päästä voikaan olla ja kuinka silloin kuvannamme potilaita ja tautitiloja.

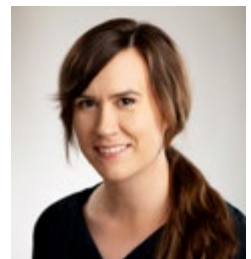
Haluamme kiittää lämpimästi kaikkia teemanumeron kirjoittajia, jotka ovat antaneet huippuasiantuntijuutensa käyttöömme. Olette tehneet upeaa ja laadukasta työtä. Yhdessä teidän ja toimituskuntamme kanssa näitä teemanumeron artikkeleita on hiottu, paranneltu ja säädetty niin, että uskomme lukijoidemme oppivan uutta, näkevän asioita uudella tavalla ja viimeistään nyt (sic!) innostuvan sydänkuvantamisesta ja sen mukanaan tuomista mahdollisuuksista.

Toivottavasti koette tämän teemanumeron hyödylliseksi ja mielenkiintoiseksi.



Riitta Paakkanen

Päätoimittaja
Dosentti, kardiologian erikoislääkäri
Hus Uusi lastensairaala



Sanna Laurila

Sydänäänän päätoimittaja
LT, kardiologian erikoislääkäri
Tyks Sydänkeskus



Saara Sillanmäki

Dosentti, kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäri
Kys Kuvantamiskeskus ja
Itä-Suomen yliopisto,
Kliinisen lääketieteen yksikkö

Ilmoitus

Sydänkuvantamisen uudet tuulet ja tutkimus

Saara Sillanmäki, LT, dos., klinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäri Kys, UEF

Valtteri Uusitalo, LT, dos., apulaisprofessori, klinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäri, Hus ja Helsingin yliopisto

Suvi Tuohinen, LT, dos., kardiologian ja sisätautien erikoislääkäri, Sydän- ja keuhkokeskus Hus

Juhani Knuuti, LT, dos., professori, klinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäri, Turun yliopisto ja Tyks

Tiina Ojala, LT, dos., lastenkardiologian professori, ylilääkäri, Hus ja Helsingin yliopisto

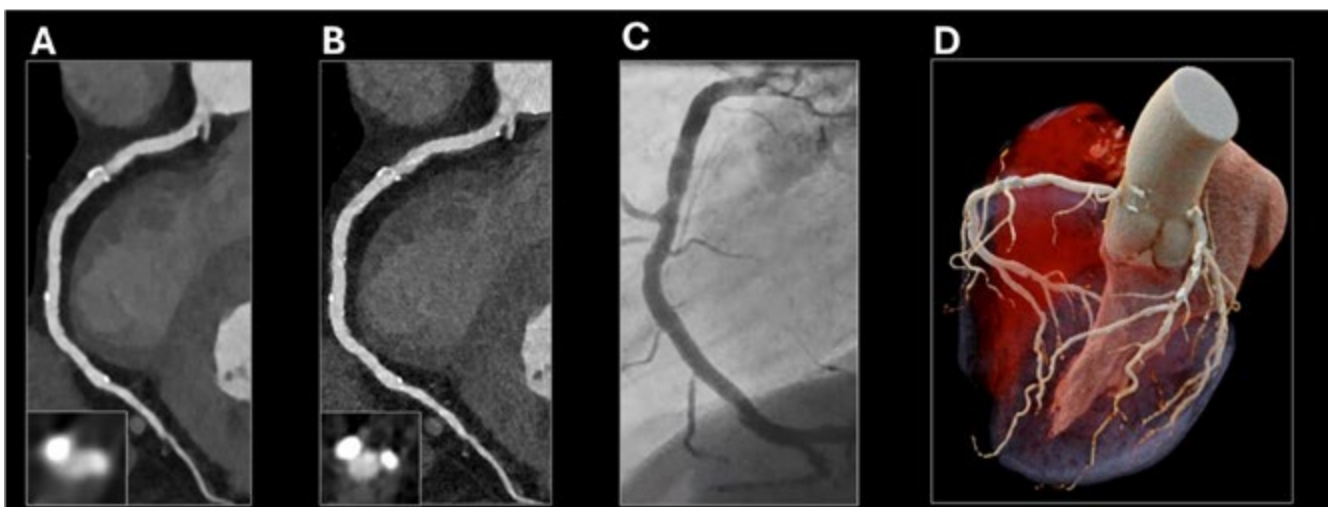
Tiivistelmä

Sydämen kuvantaminen on ottanut merkittävän kehitysloikan viime vuosina. Sepelvaltimoiden tietokonekuvaus on noussut keskeiseksi osaksi sepelvaltimotautien diagnostiikkaa. Magneettikuvaus (MK) on puolestaan vakiinnuttanut asemansa sydänsairauksien tutkimuksessa, sillä se tarjoaa erinomaisen mahdollisuuden arvioida sekä sydämen anatomiaa että toimintaa. Tarkastelemme tässä artikkelissa uusia sydämen magneettikuvausmenetelmiä (MK), mitraaliläppän arvioinnissa käytettäviä kehittyneitä ultraäänitekniikoita sekä positroniemissiotomografian (PET) uusia diagnostisia sovelluksia. Nämä menetelmät laajentavat diagnostisia mahdollisuuksia, sillä niiden avulla voidaan tutkia samanaikaisesti sydänlihaksen anatomiaa, kudosomeinaisuuksia, läppien toimintaa ja tulehduksellisia muutoksia. Kokovartalon PET-tutkimuksella voidaan saada tietoa koko elimistöstä, ei pelkästään sydäimestä, ja kehitteillä olevat spesifisemmät merkkiaineet todennäköisesti lisäävät PET-menetelmän käyttöä sydänsairauksissa. Lisäksi sepelvaltimoiden fotonilaskentaan perustuva tietokonetomografia (PCCT,

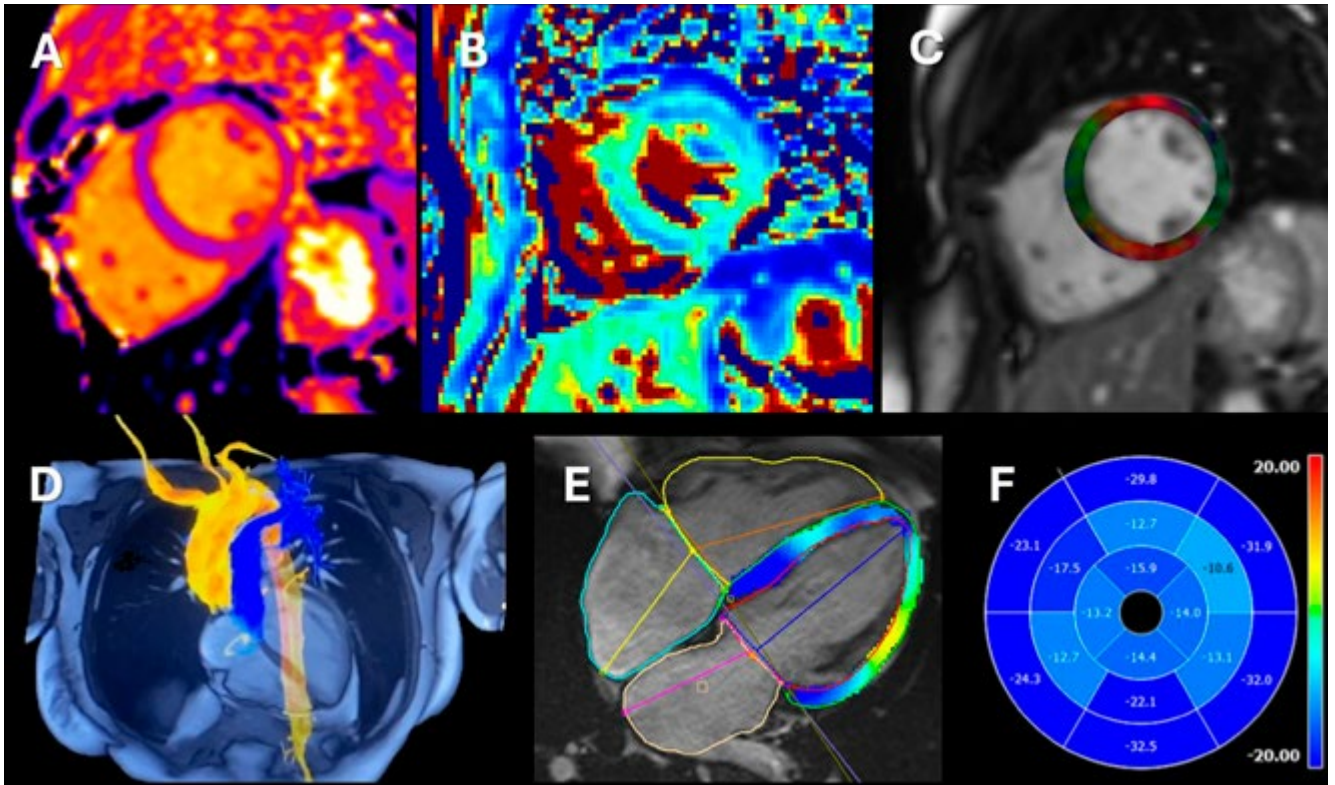
photon-counting CT) mahdollistaa entistä tarkemman sepelvaltimoiden kalkkeutumien arvioinnin pienillä säteilyannoksilla. Nämä kehitysaskeleet heijastavat laajempaa suuntausta kohti entistä kvantitatiivisempaa ja monipuolisempaa sydänkuvantamista.

Sepelvaltimoiden tietokonekuvaus ja uudet tekniikat

Sepelvaltimoiden tietokonetomografiatutkimus (TT) toteutetaan nykyisin tavallisesti flash- tai sekvenssitekniikkaa hyödyntäen. Menetelmällä on erinomainen kyky sulkea pois merkittävä sepelvaltimoahtaus, mutta runsas kalkkeutuminen sekä aiempi sepelvaltimotoimenpide heikentävät tutkimuksen diagnostista tarkkuutta. PCCT (*photon-counting CT*) on uusi sydämen TT-teknologia, jonka keskeinen kliininen hyöty sepelvaltimodiagnostiikassa on sen parempi resoluutio eli erotuskyky (kuva 1). PCCT poikkeaa perinteisestä TT:stä (niin kutsutusta *energy-integrating detector-* eli EID-CT-teknikasta) siten, että se rekisteröi yksittäiset röntgenfotonit ja niiden energian suo-



Kuva 1. Sepelvaltimoiden PCCT-kuvaus. Perinteiseen menetelmään verrattuna (A) tekniikka parantaa tilallista resoluutiota ja vähentää kalkin aiheuttamaa blooming-artefaktia (B), mikä helpottaa sepelvaltimon luumenin arviointia erityisesti runsaskalkkisissa ja stentatuissa suonissa. Vertailuna invasiivinen sepelvaltimoangiografia (C) sekä 3D-tilavuusrekonstruktio (D). Kuva: Siemens; luovuttanut Zürichin yliopistosairaala, Zürich, Sveitsi.



Kuva 2. Sydämen magneettikuvaus uusilla menetelmillä. Kliinisessä käytössä oleva T1-kudoskarakterisointikuva (A), RAFF-relaksaatioon perustuva kuva (B), vasemman kammion DTI asetettuna anatomiseen kuvan päällä, jossa sydänlihaksen säikeiden orientaatio on esitetty värikoodattuna vihreällä ja punaisella (C), 4D-flow-kuvaus, jossa aortan virtaus on esitetty keltaisella ja pulmonaalirungon sekä vasemman pulmonaarterian virtaukset sinisellä (D). Vasemman kammion longitudinaalinen strain nelilokerokuvassa (E) ja vastaava strain kartta (F).

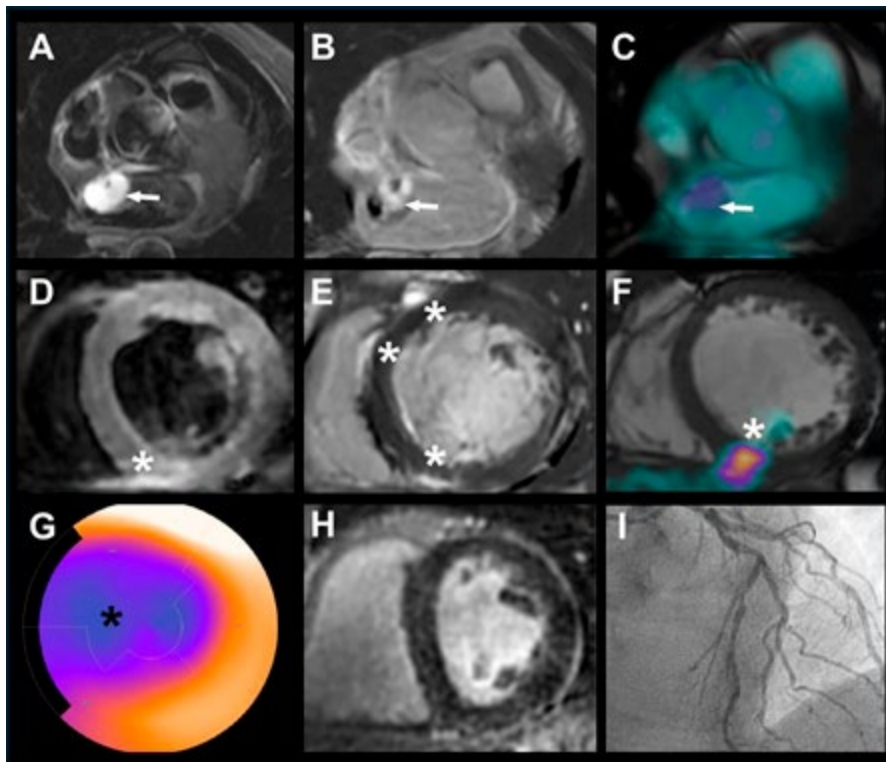
raan detektorissa. PCCT:n tekninen perusta parantaa paikka-resoluutiota ja kontrasti-kohinasuhdetta sekä vähentää artefakteja, erityisesti kalkin aiheuttamaa ”bloomingia”, joka voi tavanomaisessa tietokonekuvauksessa johtaa ahtaumien yliarviointiin [1]. Käytännössä PCCT voi parantaa sepelvaltimoiden lumenin näkyvyyttä potilailla, joilla on korkea kalkki-kuorma, ja vähentää sitä kautta sydänlihaksen perfuusiotutkimuksen tai invasiivisen angiografian tarvetta [1]. Lisäksi menetelmä parantaa sepelvaltimoplakin hienorakenteen arviointia ja mahdollistaa repeämäriskiltään epävakaamman plakin erottamisen stabiilimmista muutoksista. Myös sepelvaltimostenttien avoimuuden arvioinnissa menetelmä on ylivoimainen perinteiseen TT-kuvaukseen nähden [1]. Vaikka sädeannokset

ovat nykyisilläkin menetelmillä pienentyneet merkittävästi viime vuosina, fotonilaskentaan perustuvalla tietokonetomografiolla voidaan saavuttaa entistä pienempiä sädeannoksia, joskin annos riippuu kuitenkin aina kuvausprotokollasta ja siitä, painotetaanko maksimaalista erotuskykyä vai ensisijaisesti annoksen minimointia [1,2]. Aikuisväestön lisäksi menetelmä on erityisen lupaava myös pediatriassa ja synnynnäisissä sydänvioissa, koska pienet anatomiset rakenteet hyötyvät paremmasta resoluutiosta ja samalla annos voidaan pitää hyvin matalana. Keväällä 2026 Suomessa ei ole vielä käytössä yhtään tätä teknologiaa hyödyntävää TT-laitetta.

Sydämen magneettikuvaus

Sydämen magneettikuvaus (MK) on kehittynyt nopeasti laitekoneologian, kuvantamissekvenssien ja analyysiohjelmistojen myötä. Tutkimuksen saatavuus on parantunut, vaikka se on edelleen suhteellisen kallis ja keskittynyt pääosin yliopisto- ja keskussairaaloihin. Lisäksi laitteistokehitys on tehnyt MK-tutkimuksen pääsääntöisesti mahdolliseksi myös tahdistinpotilailla, ja tutkimuksesta joudutaan luopumaan vain harvoissa tapauksissa. Anatomian ja sydämen pumppaustoiminnan arvioinnin rinnalle on vakiintunut kvantitatiivisia MK-menetelmiä, joilla voidaan tarkentaa sydänlihaksen kudossominaisuuksien, supistuvuuden ja verenvirtauksen arviointia.

PCCT (*photon-counting CT*) on uusi sydämen TT-teknologia, jonka keskeinen kliininen hyöty sepelvaltimodiagnostiikassa on sen parempi resoluutio eli erotuskyky.



Kuva 3. Positroniemissiotomografian (PET) ja magneettikuvauksen (MK) yhdistelmäkuvaaminen (PET-MK). Yläriivi (A–C): Vasemman eteisen myksooma. ^{18}F -fluorodeoksiglukoosia (FDG) hyödyntäen tehty PET-MK-tutkimus potilaalla, jolla on histologisesti varmistettu myksooma. Muutos on myksoomalle tyypillisesti kirkassignaalin T2-painotteisessa kuvassa (A), tehostuu gadolinium-varjoaineella heterogeenisesti (B) ja osoittaa vain vähäistä metabolista aktiivisuutta PET-kuvassa (C). Keskiriivi (D–F): Sydänsarkoidoosi. Biopsiavarmennettua keuhkosarkoidoosia sairastavalla potilaalla todetaan sydänaffisioon viittaava löydös FDG-PET-MK-tutkimuksessa. Kammioiden insertioalueella nähdään ödeemaan viittaavaa löydös T2-painotteisessa kuvassa (D), septumissa myöhäistehostumaa (E) sekä vähäinen FDG-kertymä inferiorisessa insertioalueessa (F). Alariivi (G–I): Sepelvaltimotauti. PET-perfuusiokuvaus ^{15}O -leimatulla vedellä (radiovesi) osoittaa vasemman eteen laskevan sepelvaltimon (LAD) alueella selkeän iskemia-alueen (G, musta tähti); arpeen viittaavaa myöhäistehostumaa ei havaita MK:ssa (H). Invasiivisessa angiografiassa nähdään vastaavat muutokset, ja potilaalle tehtiin LAD:n alku- ja keskiosan ahtaumien stenttaus (I).

Sydänlihaksen kudominaisuusarviointi

Kliinisessä käytössä olevat T1-, T2- ja T2*-kartoitukset tarjoavat kvantitatiivista tietoa sydänlihaksen kudominaisuuksista, kuten fibroosista, turvotuksesta sekä raudan ja rasvan kertymästä (kuva 2A). Näiden rinnalle on noussut uusia tutkimuksellisia relaksaatiopohjaisia MK-menetelmiä, kuten T1p- ja RAFFn (*relaxation along a fictitious field*), joissa kontrasti muodostuu radiotaajuuspulssin aikana ja jotka ovat herkkiä kudoksen hitaille moleulaarisille liikkeille, erityisesti fibroosiin liittyville rakenteellisille muutoksille [3]. Eläinmalleissa ja varhaisissa kliinisissä tutkimuksissa RAFFn on osoittanut herkkyyttä sydänlihaksen mikrorakenteellisille muutoksille, kuten kollageenipitoisuuden lisääntymiselle ja diffuusille fibroosille, ilman varjoaineen käyttöä, mikä tekee siitä kiinnostavan menetelmän kroonisten sydänsairauksien varhaiseen fenotyyppitykseen [4,5]. RAFFn- ja T1p-tutkimusta tehdään Kuopiossa ja Oulussa.

4D-flow-magneettikuvausmenetelmän keskeinen etu on mahdollisuus määrittää virtausparametreja jälkikäteen vapaasti mistä tahansa kuvattavasta kohdasta, mikä on erityisen tärkeää synnynnäisissä sydänvioissa.

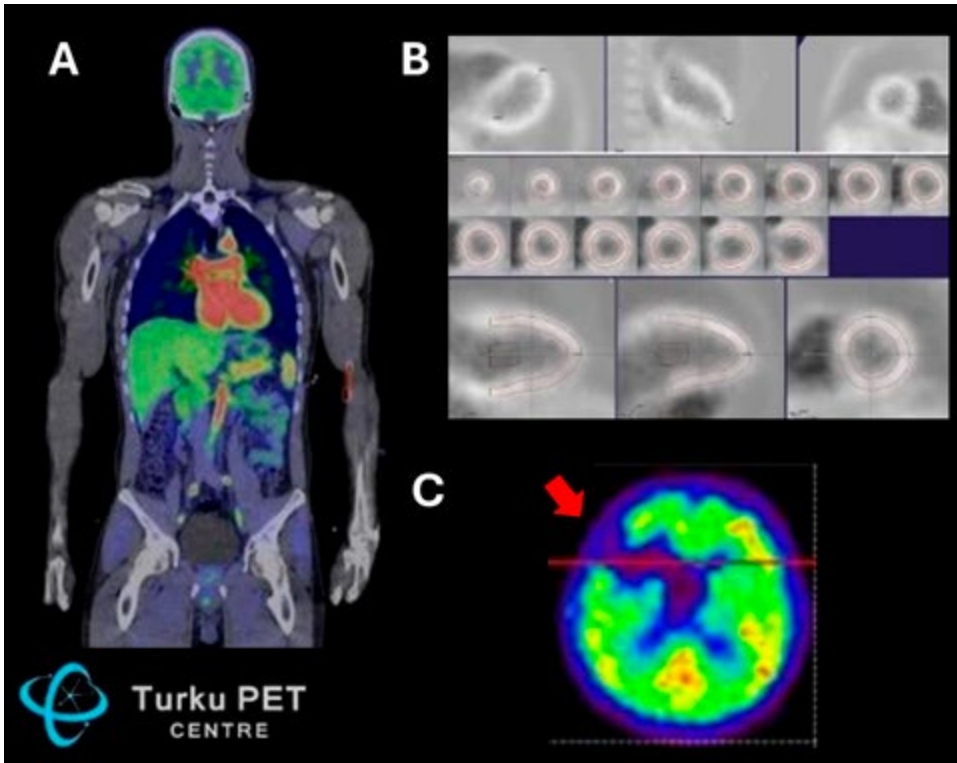
Verenvirtauksen arviointi 4D-flow-tekniikalla

4D-flow-magneettikuvaus mahdollistaa kolmiulotteisen verenvirtauksen kvantitatiivisen arvioinnin sydämessä ja suurissa verisuonissa ajan funktiona. Menetelmä tuottaa visuaalisen tiedon (kuva 2D) lisäksi useita kvantitatiivisia hemodynaamisia parametreja. Sen keskeinen etu on mahdollisuus määrittää virtausparametreja jälkikäteen vapaasti mistä tahansa kuvattavasta kohdasta, mikä on erityisen tärkeää synnynnäisissä sydänvioissa [6]. 4D-flow on hyödyllinen myös läppävikojen ja aorttasairauksien patofysiologian ymmärtämisessä [7], ja sitä on viime vuosina tutkittu myös keuhkoverenkierron sekä keuhkovaltimopaineeseen liittyvien virtausolosuhteiden epäsuorassa arvioinnissa [8]. Nopeutetut kuvaustekniikat ovat lyhentäneet kuvausaikoja merkittävästi mahdollistaen koko sydämen tutkimuksellisen kuvauksen noin neljässä minuutissa (kuva 2D), kun kliinisessä käytössä kuvausaika on noin kymmenen minuuttia.

Muut uudet MK-menetelmät

Strain-menetelmällä voidaan arvioida sydänlihaksen mekaanista toimintaa, ja se on erityisen hyödyllinen tilanteissa, joissa perinteiset mittarit, kuten ejektiofraktio, eivät vielä paljasta muutoksia. Aiemmin strainin mittaaminen magneettikuvauksella on vaatinut erillisiä sekvenssejä, kuten tagging tai DENSE (*displacement encoding with stimulated echoes*) [9]. Nykyään feature tracking -tekniikka (FT) ja kehittyneet analyysiohjelmit mahdollistavat sydänlihaksen strainin kvantifiointin suoraan tavallisista kinekuvasarjoista ilman erillisiä sekvenssejä (kuva 2 E ja F).

Tutkimuskäytössä oleva diffuusiotensorikuvaus (DTI) mahdollistaa sydänlihaksen mikrorakenteen arvioinnin (kuva 2C). Menetelmä on otettu tutkimuskäyttöön Kysissä vuonna 2025. DTI:n avulla voidaan tarkastella sydänlihaksen lihaskui-



Kuva 4. Sepelvaltimotautia sairastavan potilaan koko kehon radiovesi-PET-tutkimus (A) sydämen perфуusiotutkimuksen (B) yhteydessä. Kuvissa havaittiin sydänsairauden lisäksi aivoinfarkti (C, punainen nuoli).

tujen orientaatiota ja lamellaarisia rakenteita, mikä voi tarjota arvokasta tietoa muun muassa hypertrofisen kardiomyopatian yhteydessä [10]. DTI:tä on tutkittu myös sydänlihaksen mikrorakenteen muutosten arvioinnissa rintasyöpähoitojen kardiotoxisuuden seurannassa [11], ja muuttuneita arvoja on havaittu mm. amyloidoosiin liittyen [12].

Viimevuosina MK-alalla kiinnostusta on herättänyt ns. MK-fingerprinting. Menetelmässä luodaan jokaiselle kuvatulle kudokselle signaalikuviot eli ”sormenjäljet”, minkä jälkeen kuviontunnistusalgoritmi vertaa niitä ennalta määritellyn signaalikuviioon. Prosessi muuntaa saadun datan kvantitatiiviseksi kartoiksi, jotka paljastavat tutkittavat magneettiset ominaisuudet. Teoriassa menetelmä mahdollistaa sydänlihaksen kudosomeinuuksien samanaikaisen mittaamisen yhdellä kuvaussekvenssillä, mikä voi yksinkertaistaa MK-protokollia ja lyhentää tutkimusaikoja [13].

Sydämen PET-MK-hybridikuvantaminen

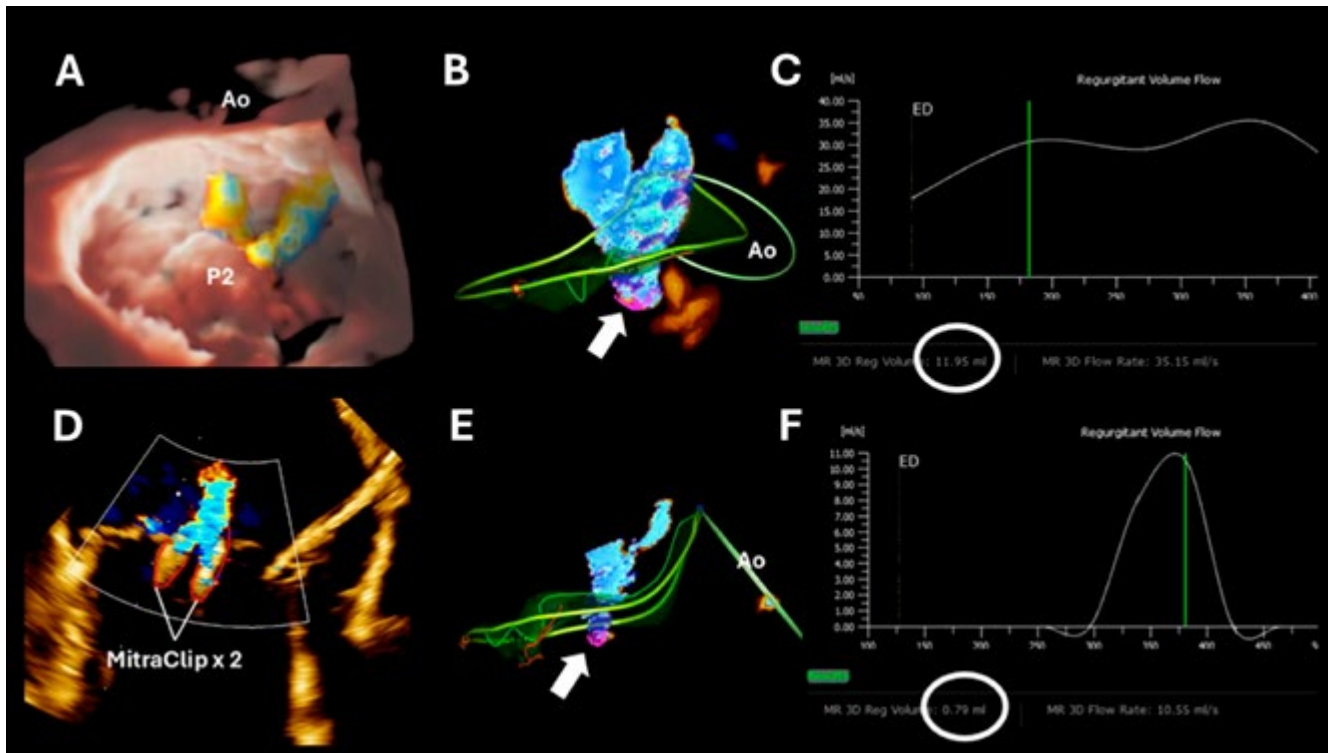
Positroniemissiotomografian (PET) ja MK:n yhdistävä laite mahdollistaa samanaikaisen PET- ja MK-kuvaamisen yhdellä tutkimuskerralla [14]. Suomessa tällaiset yhdistelmälaitteet löytyvät Turusta ja Helsingistä. Helsingissä tutkimuksia on tehty kliinisellä indikaatiolla vuodesta 2024 alkaen, ja potilaita on kuvattu runsaat sata. Yleisin tutkimusaihe on ollut sydänsarkoidosiepäily, jolloin merkkiaineena on käytetty ¹⁸F-fluorodeoksiglukoosia (FDG). Muita indikaatioita ovat olleet sepelvaltimotautipotilaan perфуusiotutkimuksen ¹⁵O-leimatulla vedellä (¹⁵O-vesi, radiovesi) sekä sydänlihaksen elinkelpoisuuden (viabiliteetin) arviointi ja sydäntuumorien kuvantaminen FDG-merkkiaineella. Sepelvaltimotautipotilailla PET-MK mahdollistaa yhden tutkimuksen aikana tarkan arvioinnin sydänlihaksen perфуusiosta, iskemia-alueista sekä ejektiofraktiosta.

Kuvassa 3 on esiteltyä Hus-alueen PET-MK-löydöksiä. PET-MK tarjoaa lisähyötyä diagnostiikassa erityisesti tilanteissa, joissa potilaalla tarvittaisiin erikseen sekä MK- että PET-tutkimus. Vuodeosastopotilailla tämä voi vähentää sairaalapäiviä, koska epäselvän MK-tutkimuksen jälkeen ei tarvitse odottaa erillistä PET-kuvausta eikä pitää taukopäivää valmistettavaa sydändieettiä varten. PET-MK:n sädeannos on lisäksi PET-TT:hen verrattuna pieni, koska TT:n sädeannos puuttuu. Lisäksi PET-dattaa kerätään koko magneettikuvauksen ajan, jolloin suuri signaalimäärä mahdollistaa joko merkkiainemäärän laskemisen tai PET-kuvan pilkkomisen osiin esimerkiksi EKG-tahdistusta varten.

Kokovartalo-PET ja uudet PET-merkkiaineet

PET on toistaiseksi ainoa rutiinikäytössä oleva menetelmä, jolla kudosten verenvirtausta, aineenvaihduntaa ja välittäjäaineiden toimintaa voidaan mitata kvantitatiivisesti ja kajoamattomasti kaikissa elimistön elimissä. Vuonna 2022 Turkuun tulivat käyttöön koko kehon samanaikaisen kuvantamisen mahdollistavat PET-TT-laitteet, jotka ovat avanneet mahdollisuuden tutkia sydänpotilaiden kaikkia elimiä ja niiden toimintaa ilman lisärasitusta potilaalle tai sädeannoksen kasvua [15].

Aivot säätelevät ja ohjaavat muun elimistön toimintaa, mutta aivojen ja muiden kudosten toiminnan yhteyksiä ei ole aiemmin voitu tutkia samanaikaisesti. On tunnettua, että esimerkiksi sepelvaltimotaudin taustalla oleva valtimosairaus voi ilmetä myös muissa elimissä kuin sydämessä. Aivojen toiminta on keskeinen sydämen toiminnan säätelyssä, ja rintakivun kokemus näyttää riippuvan sekä aivojen että sydämen toiminnasta. Toisaalta sydänsairaudet vaikuttavat monin tavoin myös aivoihin. Lisäksi esimerkiksi munuaisten toiminta voi



Kuva 5. Mitraalivuodon CFQ (color flow quantification) sydämen ruokatorviultraäänitutkimuksessa MitraClip-toimenpiteen yhteydessä. Ylärivissä (A–C) on tilanne ennen MitraClip-asennusta. Tavanomaisessa 3D-väridopplerkuvassa mitraaliläpän takapurjeen (P2) keskiosassa nähdään prolapsin aiheuttama kaksi-osainen vuoto (A). CFQ-tekniikalla kuvattuna sivusta näkyy selkeästi kiihtyvyyalue (liila pallo, valkoisen nuolen osoittama) (B). CFQ-mittaustuloksissa vuotovolyymi oli toimenpiteen alussa 12 ml (ympyröity kuvassa) ja käyrä osoittaa vuodon kattavan koko systolen ajan (C). Alarivissä (D–F) kuvataan tilanne toimenpiteen jälkeen. Perinteisessä dopplervärikuvassa nähdään residuaalivuotoja MitraClip-laitteiden välistä ja vierestä, ja vuotojen PISA-aluemittaukset (proximal isovelocity surface area) ovat haastavia (D). CFQ-mittauksessa kammionpuoleinen kiihtyvyyalue (liila pallo, valkoisen nuolen osoittama) näkyy selkeästi (E). CFQ-mittaustulokset toimenpiteen lopussa osoittavat vuotovolyymiksi 1 ml (ympyröity kuvassa), ja vuoto painottui systolen loppuun (F). Ao = aortta.

heikentyä ja muutoksia ilmetä myös lihaksissa, maksassa ja haimassa.

Turussa on kuvattu koko kehon PET-TT-laitteella jo lähes 1000 potilasta, joilla on epäilty sepelvaltimotautia (kuva 4). Kuvamateriaalin suuren määrän vuoksi analyysiä varten kehitettiin automaattinen, tekoälyavusteinen analyysiohjelmisto, joka on nyt käytössä ja julkaistu [16]. Vaikka analyysit ovat vielä osittain kesken, olemme jo havainneet, että valtimosairauteen liittyy muutoksia useissa elimissä. Esimerkiksi aivoissa on todettu iskeemisiä vaurioita. Parhaillaan selvitämme laajemmin aivojen, maksan ja munuaisten verenkierron muutoksia iskeemistä sydänsairautta sairastavilla sekä näiden muutosten vaikutusta ennusteeseen. Lisäksi tutkimme, miten potilaiden oireet liittyvät eri elinten, erityisesti aivojen, toimintaan, kuinka psykologiset tekijät vaikuttavat rintakivun kokemiseen ja millä tavoin sukupuoli vaikuttaa näihin ilmiöihin.

Edellä kuvattu esimerkki on vain yksi meneillään olevista tutkimushankkeista ja menetelmän tarjoamista mahdollisuuksista. Koko kehon samanaikaisen PET-kuvantamisen odotetaan mullistavan PET-tutkimuksen ja lääkekehityksen. Menetelmä nopeuttaa kuvantamisen muutama minuuttiin ja vähentää sädeannosta. Sen 10–20-kertainen herkkyys mahdollistaa myös täysin uusien, aiemmin saavuttamattomien biologisten kohteiden kuvantamisen. Koko kehon PET-menetelmällä voidaan tarkastella aivojen ja muun elimistön yhteistoimintaa systeemi- ja verkostonäkökulmasta, esimerkik-

si sokeriaineenvaihdunnan säätelyyn sekä sydän-, hengitys- ja verenkiertoelimistön tai autonomisen hermoston toimintaan liittyen. Tällainen lähestymistapa on viime vuosina noussut keskeiseksi, sillä se on välttämätöntä monien systeemitason sairauksien, kuten lihavuuden, diabeteksen ja verenkiertotautien, mekanismien ymmärtämiseksi ja hoitovaikutusten arvioimiseksi.

Laittekehityksen ohessa PET-menetelmän uudet avaukset perustuvat uusien merkkiaineiden käyttöön. Sydämen verenvirtauksen tutkimuksissa perinteinen isotooppikuvaus on edelleen laajasti käytössä, mutta PET-kuvauksen käyttöä vauhdittavat uudet merkkiaineet. Radioveden käyttö on laajentunut nopeasti etenkin pohjoismaissa, mutta myös F-18-leimatut merkkiaineet ovat nopeasti tulossa käyttöön. Yhdysvalloissa F-18-flurpiridaz [17] on jo saanut myyntiluvan, ja Euroopassa on parhaillaan menossa faasin 3 tutkimus puolalaisella F-18-SYN2[18]-merkkiaineella. Perinteisesti F-18-FDG on ollut perustyökälu viabiliteetin, sarkoidoosin ja endokardiitin kuvantamisessa. Parhaillaan kliinisissä tutkimuksissa on käytössä spesifisemmät, aktivoituneisiin tulehdussoluihin kertyvät merkkiaineet, kuten Ga-68-DOTA-Siglec-9 [19] ja F-18-NOTA-fo-laatti [20], jotka eivät juurikaan kerry sydänlihakseen ja tuottavat vahvan tulehduksen liittyvän signaalin. Nämä merkkiaineet todennäköisesti tulevat muuttamaan tulehduksen kuvantamisen myös sydänsairauksissa.

Ultraäänitutkimus – mitä uutta?

Mitraalivuodon arvioinnin uudet menetelmät sydämen ultraäänitutkimuksessa

Sydämen ultraäänitutkimus toimii ensisijaisena perustyökaluna sydänsairauksien diagnostiikassa ja potilaan oireiden selvittämisessä. Mitraalivuodon arvioinnissa keskeisiä tekijöitä ovat vuodon etiologia ja vaikeusaste sekä vuodon hemodynaamiset seuraukset verenkiertojärjestelmään ja potilaan vointiin. Näistä usein hankalimmin määriteltävä elementti on vuodon täsmällinen määrä, vaikka oikea arvio on kuitenkin keskeistä. Liian vaatimattomaksi arvioitu vuoto voi johtaa hoidon viivästy- miseen, ja toisaalta vuodon määrän yliarviointi voi johtaa tur- hiin kajoaviin toimenpiteisiin.

Mitraalivuodon vaikeusasteen määrittämiseksi vuotoa ar- vioidaan sydämen ultraäänitutkimuksessa aina useita para- metreja käyttäen [21]. Näitä yhdistelemällä pyritään muodos- tamaan mahdollisimman luotettava arvio tilanteesta. Vuodon vaikeusasteen arviointi on vaikeusasteen ääripäissä helppoa: lievä on lievä kaikilla mittareilla, samoin kuin hyvin vaikea on hyvin vaikea miltä suunnalta tahansa katsottuna. Ongelmana on se, että valtaosa arvioon tulevista mitraaliläppävuodoista sijoittuu näiden välille.

Mitraalivuodon vaikeusasteen määrittämisen ongelmat

Vuodon vaikeusasteen määrittämisen ongelmat ultraäänessä voidaan jakaa näkyvyysongelmiin, teknisiin mittausingelmiin, geometrisiin ongelmiin, ajalliseen ongelmaan sekä ristiriitaisiin mittaustuloksiin. Riittämätön näkyvyys rintakehän päältä teh- tävässä ultraäänitutkimuksessa voidaan usein korjata parem- malla näkyvyydellä ruokatorven kautta, mutta ei aina. Tekni- set mittausingelmat ovat varsin yleisiä. Yleisin ja merkittävin mittausingelma on PISA-alueen (*proximal isovelocity surface area*) huipun ja kannan mittauspisteiden väärät kohdat.

Geometriisiin ongelmiin voidaan laskea eksentriset, mul- tippelit ja laajat vuodot. Eksentrisen vuoto voi pahimmillaan tulla aivan läpän laidasta ja suihkuttaa vuotojettinsä poikittain. Näissä vuodoissa PISA-alueen ja vuodon hännän saaminen sa- maan näkymään voi olla vaikeaa, ja pahimmillaan vuodon ha- vaitseminen on haastavaa. Multippeleiden vuotojen mittaus kohdistuu perinteisesti yhteen vuotoon, jolloin osa kokonai- suudesta jää arvioimatta. Saman ongelman jatkumoa on vuo- don virtaus laajalta alueelta pitkin koaptaatiolinjaa, jolloin yh- destä pisteestä mitattu arvio ei kuvasta kokonaisuutta.

Näistä syistä johtuen mitraalivuodon mittauservot anta- vat usein ristiriitaisia tuloksia. Amerikkalaisessa suosituksessa onkin ehdotettu integroitua menetelmää. Integroitukaan me- netelmä ei kuitenkaan poista vuodon ajallisen käyttäytymisen vaikutusta vuodon todelliseen hemodynaamiseen vaikutuk- seen [22]. Mitraalivuoto mitataan sydämen ultraäänitutkimuk- sessa yhdessä aikapisteessä. On kuitenkin täysin eri asia, onko kyseinen aikapiste vain hetkellinen ilmiö vai jatkuuko vuoto sa- manlaisena koko systolen ajan.

CFQ-menetelmä

Uusimmat sydänkuvantamismenetelmät mitraalivuodon vai- keusasteen määrittämisessä pyrkivät vastaamaan kaikkiin edellä mainittuihin ongelmiin [23,24]. Sekä sydämen ultraäänit- tutkimuksessa että sydämen MK-tutkimuksessa on kehitetty menetelmiä, joilla pystytään mittaamaan kaikki mitraaliläpän vuodot koko systolen läpi. 4D-flow-MK:lla pystytään mittaa-

CFQ-menetelmässä (*color flow quantification*) kvantifioidaan vasemmasta kammioista eteiseen palaava tilavuus koko sydänsyklin ajalta väridopplerdatan perusteella.

maan yhdestä syklistä paitsi mitraalivuoto myös muiden läp- pien vuodot suorina mittauksina. Mitraalivuodon ensisijainen mittausingelma on kuitenkin sydämen ultraäänitutkimus. CFQ-menetelmässä (*color flow quantification*) kvantifioidaan vasemmasta kammioista vasempaan eteiseen regurgitoiva ti- lavuus koko sydänsyklin ajalta väridopplerdatan perusteella. Mittausmenetelmä perustuu kammionpuoleisten virtauskiih- tymäalueiden mittaukseen systolen jokaisessa ajankohdas- sa koko mitraaliläpäksi määritellyltä alueelta. Näin se kattaa kaiken vuodon riippumatta vuotojen suunnasta, määrästä tai ajallisesta käyttäytymisestä.

CFQ-mittauksen toteutus ja tulokset

CFQ-mittaus tehdään sydämen ruokatorviultraäänikuvista. Kolmiulotteinen värikuva mitraaliläpästä ja vuodosta opti- moidaan sekä taajuuden että värikoodauksen osalta. Taltioitu kuva analysoidaan erillisellä ohjelmalla. Kliinisen kokemuksen perusteella teknisesti analysoitava kuva on saatavissa valta- osalla potilaista ja kuvan analysointi on nopeaa. Saadut tulok- set ovat vuotovolyymi (ml) sekä vuodon virtausnopeus (m/s) ja sen ajallinen käyttäytyminen.

Menetelmä vastaa pitkälti mitraalivuodon mittauksen on- gelmiin. Lisäksi sitä voidaan käyttää tilanteissa, joissa mitraa- livuodon mittaus on lähes mahdotonta, kuten MitraClip-toi- menpiteen jälkeen (kuva 5). Menetelmällä on kuitenkin omat haasteensa. Kliinisten havaintojen mukaan vuodon määrä CFQ-mittauksella näyttäisi olevan karkeasti noin neljäsosa ta- vanomaisesta, PISA-menetelmällä mitatusta tuloksesta (oma julkaisematonta aineisto, n = 50). Hoitoalgoritmin perustuessa perinteisiin mittareihin jää CFQ vielä toissijaiseksi arviointiele- mentiksi. Lisäksi mitraalivuodon määrä vaihtelee usein syklistä toiseen, ja eri syklien tulokset voivat vaihdella yllättävän paljon, ellei mittaja ole tarkka ja valitse edustavinta otosta mittauk- seen. Menetelmä on kuitenkin lupaava ja todennäköisesti vah- vistaa jatkossa paikkaansa osana mitraalivuodon arviointia.

Yhteenveto

Sydänkuvantamisen kehitys kohti kvantitatiivisempia ja tois- tettavampia menetelmiä tarjoaa kardiologeille entistä tarkem- pia työkaluja diagnostiikkaan ja hoitopäätösten tekoon. PCCT parantaa sepelvaltimokuvantamisen luotettavuutta erityises- ti kalkkisissa ja stentatuissa kohteissa. Uudet menetelmät, ku- ten RAFFn, 4D-flow, PET-MK-yhdistelmäkuvaus ja kokovarta- lon PET-tutkimus laajentavat mahdollisuuksia sydänlihaksen mikrorakenteen, hemodynaamikan ja tulehdusellisten muu- tostien arvioinnissa. Ultraäänitutkimuksen CFQ-menetelmä



puolestaan pyrkii ratkaisemaan mitraalivuodon määrällisen arvioinnin pitkäaikaisia haasteita. Vaikka monet näistä menetelmistä ovat vielä osittain tutkimuskäytössä, niiden kliininen merkitys tulee todennäköisesti kasvamaan teknologian

ja standardoinnin kehittyessä. Näiden menetelmien laajempi käyttöönotto edellyttää kuitenkin vielä standardointia, kustannus-hyötyarvioita sekä kliinistä näyttöä siitä, miten ne vaikuttavat potilaiden ennusteeseen ja hoitopäätöksiin. ■

Viitteet:

- [1] Pontone G, Mushtaq S, Pizzi C, ym. Photon-counting computed tomography: a revolution in cardiac imaging. *Eur Heart J* 2026.
- [2] McCollough CH, Yu L. CT Radiation Dose Reduction With Preserved Diagnostic Performance: How Far Have We Come Over 25 Years? *American Journal of Roentgenology* 2026.
- [3] Liimatainen T, Sorce DJ, O'Connell R, ym. MRI contrast from relaxation along a fictitious field (RAFF). *Magn Reson Med* 2010;64:983–94.
- [4] Mirmojarabian S, Liukkonen E, Casula V, ym. Interventional Cardiology Relaxation along Fictitious Field (RAFF) provide an appropriate alternative method for imaging chronic myocardial infarct without exogenous contrast media. *Interventional Cardiology* 2021.
- [5] Yla-Herttuala E, Laidinen S, Laakso H, ym. Quantification of myocardial infarct area based on T RAFFn relaxation time maps - Comparison with cardiovascular magnetic resonance late gadolinium enhancement, T 1ρ and T 2 in vivo. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2018;20.
- [6] Bissell MM, Raimondi F, Ait Ali L, ym. 4D Flow cardiovascular magnetic resonance consensus statement: 2023 update. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2023;25.
- [7] Kiljander T, Kauhanen P, Sillanmaki S, ym. Repaired coarctation of the aorta does not affect four-dimensional flow metrics in bicuspid aortic valve disease. *Interdisciplinary Cardiovascular and Thoracic Surgery* 2024;38.
- [8] Reiter G, Kovacs G, Reiter C, ym. Left atrial acceleration factor as a magnetic resonance 4D flow measure of mean pulmonary artery wedge pressure in pulmonary hypertension. *Front Cardiovasc Med* 2022.
- [9] Sillanmäki S, Vainio HL, Ylä-Herttuala E, ym. Measuring Cardiac Dyssynchrony with DENSE (Displacement Encoding with Stimulated Echoes)—A Systematic Review. *Rev Cardiovasc Med* 2023;24.
- [10] Ferreira PF, Kilner PJ, McGill LA, ym. In vivo cardiovascular magnetic resonance diffusion tensor imaging shows evidence of abnormal myocardial laminar orientations and mobility in hypertrophic cardiomyopathy. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance* 2014;16.
- [11] Lohr D, Thiele A, Stahnke M, ym. Characterization of anthracycline-induced cardiotoxicity by diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Basic Res Cardiol* 2025;120:57–69.
- [12] Khalique Z, Ferreira PF, Scott AD, ym. Diffusion Tensor Cardiovascular Magnetic Resonance in Cardiac Amyloidosis. *Circ Cardiovasc Imaging* 2020;13.
- [13] Eck BL, Yim M, Hamilton JI, ym. Cardiac Magnetic Resonance Fingerprinting: Potential Clinical Applications. *Curr Cardiol Rep* 2023;25:119–31.
- [14] Kazimierczyk R, Kaminski KA, Nekolla SG. Cardiac PET/MRI: Recent Developments and Future Aspects. *Semin Nucl Med* 2024;54:733–46.
- [15] Knuuti J, Tuisku J, Kärpijoki ym. Quantitative Perfusion Imaging with Total-Body PET. *Journal of Nuclear Medicine* 2023;64:11S–19S.
- [16] Tuisku J, Palonen S, Kärpijoki H, ym. Automated long axial field of view PET image processing and kinetic modelling with the TurBO toolbox. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2026.
- [17] Ayalew BD, Khaliq N, Marsool AD, ym. Flurpiridaz F18: a new era in nuclear cardiac imaging – the first FDA-approved radiotracer in 30 years. *Annals of Medicine & Surgery* 2025;87:6972–5.
- [18] Knuuti J, Kobylecka M, Krajewski S, ym. Biodistribution Biodistribution, Safety Profile, and Radiation Dosimetry of [18F]SYN2, a PET Cardiac Perfusion Tracer, in Healthy Subjects. *Journal of Nuclear Medicine* 2025;66:626–33.
- [19] Dadson P, Ylä-Outinen H, Kalliokoski K, ym. Proof-of-concept PET imaging of pulmonary sarcoidosis using VAP-1-targeted radiotracer [68Ga]Ga-DOTA-Siglec-9. *Respir Res* 2025.
- [20] Iqbal I, Liljenbäck H, Andriana P, ym. Folate receptor β-targeted Positron emission tomography imaging of activated macrophages in experimental myocardial infarction. *Journal of Nuclear Cardiology* 2026.
- [21] Praz F, Borger MA, Lanz J, ym. 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease: Developed by the task force for the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 2025;46:4635–736.
- [22] Zoghbi WA, Adams D, Bonow RO, ym. Recommendations for Noninvasive Evaluation of Native Valvular Regurgitation: A Report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2017;30:303–71.
- [23] Militaru S, Bonnefous O, Hami K, ym. Validation of Semiautomated Quantification of Mitral Valve Regurgitation by Three-Dimensional Color Doppler Transesophageal Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography* 2020;33:342–54.
- [24] Garg P, Pavon AG, Penicka M, ym. Cardiovascular magnetic resonance imaging in mitral valve disease. *Eur Heart J* 2025;46:606–19.

Sidonnaisuudet

- Saara Sillanmäki: luentopalkkio (Suomen Kardiologinen Seura), osakkeet (Sataman Sydän Oy), luottamustehtävät (Suomen Kardiologisen Seuran sihteeri, UEMS/EBNM CME akkreditointikomitean jäsen)
- Valteri Uusitalo: luentopalkkio (Pfizer), luottamustehtävät (EACVI Scientific documents committee, JNC editorial board)
- Suvi Tuohinen: luentopalkkiot ja konsultointi (Pfizer, Abbott, BMS, Suomen Kardiologinen Seura)
- Juhani Knuuti: luentopalkkio (Siemens Healthineers), konsultaatio (tutkimushanke Synektik SA ja GE Healthcare), luottamustehtävä (Suomalaisen Tiedeakatemian puheenjohtaja, Suomen Lääketieteen Säätiön hallituksen jäsen)
- Tiina Ojala: luentopalkkiot (Suomen Kardiologinen Seura, Tarton yliopisto), konsultaatio (Bayerin ohjausryhmä, Fiorello-tutkimus), luottamustehtävät (Sydäntutkimussäätiön tieteellisen asiantuntijavaliokunnan jäsen, Suomen Lääketieteen Säätiön neuvottelukunnan jäsen, HY, Scidicum, Las-tenklinikka, yksikön johtaja)

Sepelvaltimotaudin kuvantaminen

Maria Istomina, LL, kardiologian ja sisätautien erikoislääkäri, Kys, Kuvantamiskeskus, Sydänkeskus

Juha Vornanen, LL, radiologian erikoislääkäri, Sairaala Nova

Antti Eranti, LT, dosentti, kardiologian erikoislääkäri, Siun Sote, Sydänkeskus

Teemu Maaniitty, LT, dosentti, kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäri, Tyks ja Turun yliopisto

Tiivistelmä

Kroonisen sepelvaltimo-oireyhtymän ilmentymät voivat olla hyvinkin erilaisia – oireet vaihtelevat tyypillisestä rintakivusta hengenahdistukseen ja sydämen vajaatoimintaan. Kliinissä työssä kasvavan joukon muodostavat oireettomat henkilöt, joilla sepelvaltimotautiin viittaavia löydöksiä, kuten kalkkia, havaitaan kuvantamistutkimuksissa sattumalta. Sepelvaltimotaudin kliinisen ennakkotodennäköisyyden arvioinnilla on tärkeä asema diagnostisten tutkimusten valinnassa ja kohdentamisessa. Usein ensilinjan diagnostiikkaan sopii kajoamaton menetelmä, joko sepelvaltimoiden tietokonetomografia tai toiminnallinen kuvantamistutkimus. Ne antavat tietoa sepelvaltimotaudin vaikeusasteesta ja ennusteesta sekä auttavat kohdentamaan kajoavat kuvantamistutkimukset niistä hyötyville potilaille.

Johdanto

Rintakivupotilaiden diagnostiikkaan liittyy paljon haasteita: krooninen sepelvaltimo-oireyhtymä ei aina ilmene klassisena angina pectoriksena, ja oireet voivat vaihdella iän ja sukupuolen mukaan. Lääkärin on selvitettävä oireiden luonne ja vaikutus elämään sekä samalla arvioitava potilaan ennustetta ja hoitovaihtoehtoja. Jos sepelvaltimotauti ei ole anamneesin ja kliinisen tutkimuksen perusteella suljettavissa pois potilaan oireiden taustalta, tarvitaan diagnostisia tutkimusmenetelmiä taudin toteamiseksi tai poissulkemiseksi (1). Euroopan kardiologiyhdistyksen ESC:n suositusten mukaan kajoamattomat ku-

vantamismenetelmät soveltuvat usein ensilinjan tutkimuksiksi epäiltäessä kroonista sepelvaltimo-oireyhtymää (2). Äkillisessä sepelvaltimotautikohtauksessa kajoavilla kuvantamistutkimuksilla on puolestaan keskeinen rooli.

Potilaan hakeutuessa hoitoon rintakivun tai hengenahdistuksen vuoksi on ensin arvioitava, voiko kyseessä olla äkillinen sepelvaltimotautikohtaus tai muu välitöntä hoitoa vaativa sairaus. Lisäksi harvinaiset sepelvaltimotapahtumat, kuten spontaani sepelvaltimon dissekaatio, tulee pitää mielessä myös sellaisilla potilailta, joilla ei ole sepelvaltimotaudin riskitekijöitä. Mikäli vaiva ei ole akuutti, on pohdittava, kuinka todennäköistä on, että oireiden taustalla on ahtauttava sepelvaltimotauti. Uusimpien ESC:n suositusten mukaan ahtauttavan sepelvaltimotaudin kliinisen ennakkotodennäköisyyden arvioinnissa tulee huomioida iän, sukupuolen ja oireiden tyypillisyyden lisäksi myös valtimotaudin klassiset riskitekijät (tupakointi, diabetes, verenpainetauti, hyperkolesterolemia ja sukurasite) (kuva 1) (2). Arviota voidaan edelleen tarkentaa esimerkiksi EKG- ja ultraäänilöydösten tai sepelvaltimokalkin määrän perusteella. Käytännön työssä sepelvaltimoiden kalkkeutumista voi arvioida potilaasta aiemmin otetuista rintakehän alueen tietokonetomografiakuvista.

Kliinisen ennakkotodennäköisyyden ollessa erittäin pieni ($\leq 5\%$) potilaan oireet johtuvat mitä todennäköisimmin muusta syystä kuin ahtauttavasta sepelvaltimotaudista eikä kuvantamistutkimuksia yleensä tarvita (2). Näillä potilailta vuotuinen tapahtumariski on erittäin vähäinen (noin $0,5\%$) (3). Jos ennakkotodennäköisyys on pieni ($> 5\text{--}15\%$), ennusteeseen vaikutta-

Riskitekijöiden lukumäärä	Muu kipu						Epätyypillinen rintakipu tai hengenahdistus						Tyypillinen rintakipu					
	Naiset			Miehet			Naiset			Miehet			Naiset			Miehet		
	0-1	2-3	4-5	0-1	2-3	4-5	0-1	2-3	4-5	0-1	2-3	4-5	0-1	2-3	4-5	0-1	2-3	4-5
Ikä 30-39	0	1	2	1	2	5	0	1	3	2	4	8	2	5	10	9	14	22
Ikä 40-49	1	1	3	2	4	8	1	2	5	3	6	12	4	7	12	14	20	27
Ikä 50-59	1	2	5	4	7	12	2	3	7	6	11	17	6	10	15	21	27	33
Ikä 60-69	2	4	7	8	12	17	3	6	11	12	17	25	10	14	19	32	35	39
Ikä 70-80	2	7	11	15	19	24	6	10	16	22	27	34	16	19	23	44	44	45

Riskitekijät: sukurasite, tupakointi, dyslipidemia, diabetes, verenpainetauti

KUVA 1. Ahtauttavan sepelvaltimotaudin kliinisen ennakkotodennäköisyyden (%) arviointi iän, sukupuolen, oireiden ja riskitekijöiden lukumäärän perusteella. Kuvan lähde: Krooninen sepelvaltimo-oireyhtymä. Käypä hoito -suositus 2022 (1).

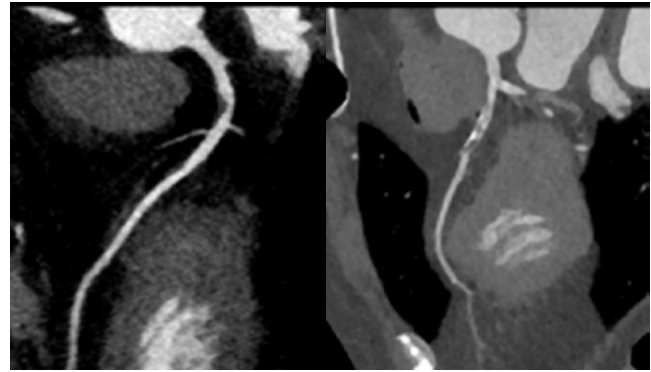
va sepelvaltimotauti löytyy vain harvoin ja diagnostisia tutkimuksia tulee harkita tilanteen mukaan. Tässä ryhmässä sepelvaltimoiden tietokonetomografia (TT) sopii usein ensisijaiseksi tutkimusmenetelmäksi (taulukko). Ennakkotodennäköisyyden ylittäessä 15 % ovat kuvantamistutkimukset aiheellisia, ja tähän soveltuu usein sepelvaltimoiden TT tai jokin kajoamaton toiminnallinen kuvantamismenetelmä sydänlihaskemian osoittamiseksi. Potilailla, joilla ennakkotodennäköisyys on erittäin suuri, kajoava sepelvaltimoiden varjoainekuvaus voi olla ensisijainen kuvantamismenetelmä (2).

Sepelvaltimoiden tietokonetomografia

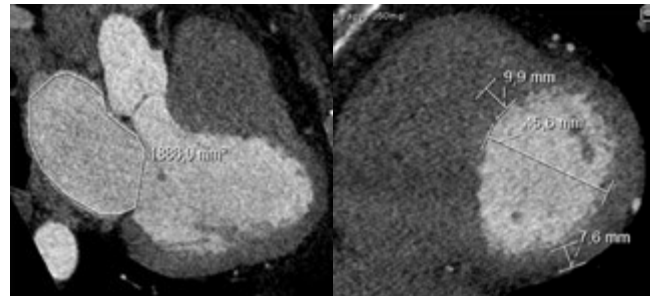
Sepelvaltimoiden TT on kajoamaton varjoainetehosteinen tutkimus, joka suoritetaan EKG-tahdistetusti niin, että sepelvaltimot kuvataan hengityspidätyksessä (10–15 s) yleensä keskidiastolessa, jolloin sydän ja sen pinnalla kulkevat sepelvaltimot liikkuvat vähiten. Kuvauksen yhteydessä jodia sisältävä varjoaine annostellaan yleensä kyynärtaipen laskimoon. Tutkimus onnistuu optimaalisimmin tilanteessa, jossa sydämen rytmi on säännöllinen ja syketaajuus rauhallinen. Sen sijaan haarakatko ei häiritse tutkimusta. Kuvanlaadun optimoimiseksi syketaajuuden tulisi olla 60–65/min, ja sitä voidaan tarvittaessa hidastaa laskimonsisäisesti annosteltavalla beetasalpaajalla (esim. metoprololi ad 20 mg) ennen kuvausta. Itse kuvaus kestää vain muutamia sekunteja, mutta eri vaiheineen ja asetteiluineen tutkimukseen kuluu 5–10 minuuttia. Potilaalle on hyvä kertoa etukäteen, että varjoaineen annon yhteydessä voi ilmetä ohimenevä koko kehoon leviävä lämmön tunne sekä virtsankarkaamisen tunne. Tutkimukseen liittyvä efektiivinen sädeannos on keskimäärin 4–5 mSv (vastaten noin 9 kk:n taustasäteilyä), joskin osalla potilaista päästään pienempiinkin annoksiin (4).

Sepelvaltimoiden TT:n perusteella voidaan arvioida mahdolliset ateroskleroottiset muutokset sepelvaltimoissa ja niiden aste (esim. ei muutoksia/ei-ahtauttavat seinämämuutokset/ahtauttavat ateroskleroottiset muutokset). Menetelmällä on suuri herkkyys ja negatiivinen ennustearvo, joten se soveltuu ahtauttavan sepelvaltimotaudin poissulkuun etenkin, kun taudin kliininen ennakkotodennäköisyys on pieni tai kohtalainen (> 5–50 %) (2, 5). Anatomisena kuvantamismenetelmänä TT ei kuitenkaan anna suoraa tietoa sepelvaltimoahtaamien toiminnallisesta eli hemodynaamisesta merkityksestä, mikä rajoittaa sen spesifisyyttä ja voi edellyttää jatkotutkimuksia joko muilla kuvantamismenetelmillä tai uusilla TT-pohjaisilla analyysimenetelmillä (ks. jäljempänä) (2, 5).

Usein ensilinjan diagnostiikkaan sopii kajoamaton menetelmä, joko sepelvaltimoiden tietokonetomografia tai toiminnallinen kuvantamistutkimus.



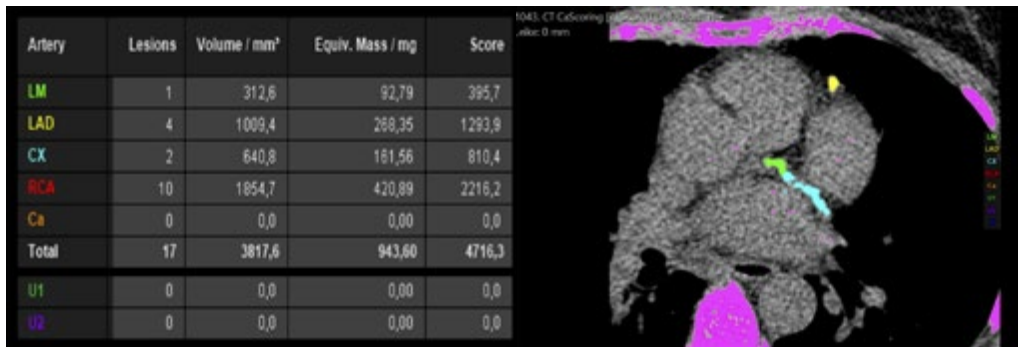
KUVA 2. Vasemmalla on pehmeä plakki ja merkittävä suonon ahtauma. Oikeanpuoleisessa kuvassa näkyy runsaat ateroskleroottiset muutokset, jolloin merkittävää ahtaamaa ei voi luotettavasti sulkea pois TT:n perusteella ja tarvitaan jatkotutkimuksia ahtauman toiminnallisen merkityksen arvioimiseksi.



KUVA 3. Sydämen mitat TT-kuvassa. Lyhyen akselin leikekuvasta on mitattu vasemman kammion poikkimitta ja seinämien paksuus keskidiastolessa sekä kolmilokerokuvasta mitattu vasemman eteisen pinta-ala.

Sepelvaltimoiden TT-tutkimuksessa todettu ateroskleroosin laajuus ja vaikeusaste ennustavat potilaan sydäntapahtumien ja kuolleisuuden riskiä (6). Noin 4 000 potilaan satunnaisesti SCOT-HEART-tutkimuksessa sepelvaltimoiden TT:n käyttö oli yhteydessä pienempään sydäntapahtumariskiin verrattuna tavanomaiseen diagnostiikkaan (kliiniseen rasisutukseen). Tämä voi selittyä ennustetta parantavan lääkehoidon, kuten statiinien, yleisemmällä käytöllä, sillä TT-kuvannuksessa ryhmässä aloitettiin lääkehoito, mikäli nähtiin merkkejä sepelvaltimoiden ateroskleroosista (7–9). Sepelvaltimoiden TT antaa tietoa myös plakin koostumuksesta (kalkkeutunut vs. ei-kalkkeutunut vs. sekamuotoinen plakki) ja ominaisuuksista (korkean riskin piirteet, kuten suonon remodelaatio) (kuva 2). Lisäksi TT-kuvista voidaan arvioida esimerkiksi sydämen rakennetta (vasemman kammion koko, seinämien paksuudet/ohentumat, mahdolliset sydämen sisäiset trombit), keuhkolaskimoiden anatomiaa ja nousevan aortan mittoja (kuva 3). Joskus muut potilaan oireen syyt, kuten palleatryä, kylkiluumurtuma tai keuhkokudoksen sairaus, voivat myös paljastua TT-kuvasta.

Sepelvaltimokalkin määrää voidaan mitata ilman varjoainetta tehtävällä kalkkipisteitys-TT-kuvauksella (*calcium score*), joka tehdään yleensä varjoainetehosteisen TT-kuvauksen yhteydessä. Näin mitattu sepelvaltimokalkin määrä on yhteydessä ennusteeseen (10). Runsas sepelvaltimokalkki voi vaikeuttaa lumenin arviointia TT-tutkimuksella, joten erittäin



KUVA 4. Erittäin runsaat sepelvaltimokalkit, joiden vuoksi tässä tapauksessa ei edetty varjoainetehosteiseen TT-tutkimukseen.

runsaan kalkkisuuden yhteydessä sepelvaltimoiden varjoainetehosteisesta TT-tutkimuksesta voi olla syytä pidättäytyä ja käyttää sen sijaan muita kuvantamismenetelmiä (2) (kuva 4). Myös aiemmin tehty rintakehän alueen muu TT-tutkimus voi paljastaa sepelvaltimokalkit ja näin ollen tarkentaa ennakkotodennäköisyyden arviointia ja ohjata diagnostisten tutkimusten valintaa. Sepelvaltimokalkin puuttuminen viittaa siihen, että ahtauttava sepelvaltimotauti on epätodennäköinen, mutta pelkkää kalkkipisteytys-TT-kuvausta ei tule käyttää diagnostiikkana poissulkumenetelmänä (2). Etenkin nuoremmilla potilailta sepelvaltimoplakit voivat olla pääosin kalkittomia (11). Lisäksi suonien kulkureitti tulee arvioida, jotta mahdolliset suonianomaliat voidaan luotettavasti sulkea pois.

Uudet TT-tekniikat

TT-laitteiden ja -ohjelmistojen tekninen kehitys on ollut nopeaa viime vuosina. Sydämen ja sepelvaltimoiden kuvauksissa leveämmät detektorit ja kaksoisputkiteknikka ovat mahdollistaneet diagnostiset kuvaukset nopeammilla syketasoilla ja sallivat myös kookkaampien potilaiden kuvaukset. Tämän tasoisia laitteita onkin käytössä lähes kaikissa Suomen kuvantamisyksiköissä. Lähitulevaisuudessa siirtyminen fotonilaskentaan perustuvaan detektoritekniikkaan voi entisestään parantaa TT-tutkimuksen tarkkuutta. Fotonilaskentateknikalla (PCCT, *photon-counting computed tomography*) pystytään saavuttamaan 0,2–0,4 mm:n paikkaresoluutio aiemman 0,6 mm:n sijaan. Lisäksi etenkin metalliartefaktien väheneminen paremman energiaerottelukyvyn ansiosta sallii myös sepelvaltimostenttien arvioimisen, joka ei aiemmin ole ollut mahdollista TT-tekniikalla. Parempi energiaerottelukyky voi myös mahdollistaa sepelvaltimoita ympäröivän rasvan arvioinnin sekä plakkien tyyppityksen entistä tarkemmin (12), jolloin suuren riskin potilaat voitaisiin toivottavasti tunnistaa entistä aikaisemmassa vaiheessa.

Sepelvaltimoiden TT-tutkimus on anatominen kuvantamismenetelmä, minkä vuoksi on kehitetty ohjelmistoja, joilla pyritään ennustamaan raja-arvoisten plakkimuutosten toiminnallista merkitystä TT-kuvista. Nämä menetelmät voivat perustua joko virtausdynamiikkaan (CT-FFR, *computed-tomography-based fractional flow reserve*), jossa virtausolosuhteet ennustetaan käyttäen sydänlihaskiintymistä ja sepelvaltimoista rakennettua 3D-mallia (13), tai tekoälyalgoritmeihin (14). Tällaisilla TT-pohjaisilla menetelmillä voitaisiin osittain välttää tarve erillisille toiminnallisille jatkotutkimuksille, mutta käyttöä kuitenkin rajoittaa niiden saatavuus, ja kuvat on usein lähetettävä ulkopuoliseen (maksulliseen) palveluun analyysia varten.

Paikan päällä kuvantamisyksikössä tehtävä kuva-analyysi voisi edistää näiden menetelmien kliinistä käyttöönottoa ja parhaimmillaan vähentää kustannuksia. Lisäksi viime aikoina on kehitetty useita ohjelmistoja sepelvaltimoiden ateroskleroosin määrän kvantitatiiviseen arviointiin (15).

Sydänlihasiskemian osoitus kajoamattomilla kuvantamistutkimuksilla

Ahtauttavan sepelvaltimotaudin aiheuttamaa sydänlihasiskemiaa ja sen laajuutta voidaan arvioida kajoamattomilla toiminnallisilla kuvantamismenetelmillä, jotka perustuvat joko sydänlihaksen verenvirtauksen eli perfuusion määrittämiseen (yleisimmin isotooppimenetelmät) tai sydänlihaksen supistumishäiriön osoittamiseen rasituksen aikana (rasitusultraääni). Toiminnalliset kuvantamismenetelmät voivat osoittaa sepelvaltimoiden TT-tutkimusta tarkemmin hemodynaamisesti eli toiminnallisesti merkittävän sepelvaltimotaudin, kun vertailukohtana on käytetty kajoavaa painevaijerimittausta (5, 16). Ne antavat myös ennusteellista tietoa (17). Toiminnalliset kuvantamismenetelmät ovatkin keskeisiä, kun arvioidaan, onko sepelvaltimotauti potilaan oireiden aiheuttaja. Lisäksi sydänlihasiskemian osoitus on olennaista, kun harkitaan kroonisen sepelvaltimo-oireyhtymän kajoavaa hoitoa, ja kajoamattomasti saatu toiminnallinen tieto voi auttaa kohdistamaan toimenpiteen oikeaan suoneen.

ESC suosittelee kajoamattomia toiminnallisia kuvantamismenetelmiä sydänlihasiskemian arvioimiseen potilailla, joilla ahtauttavan sepelvaltimotaudin kliininen ennakkotodennäköisyys on kohtalainen tai suuri (> 15–85 %) (2). Näin ollen toiminnalliset kuvantamismenetelmät soveltuvat usein myös iäkkäille tai potilaille, joilla on runsaasti sepelvaltimokalkkia, sekä niille, joilla on ennestään tiedossa oleva sepelvaltimotauti ja halutaan selvittää iskemian osuutta oireiden taustalla.

Yksifotoniemissiotomografia

Yksifotoniemissiotomografia (SPECT, *single-photon emission computed tomography*) on pitkään käytössä ollut kajoamaton leikekuvantamismenetelmä sydänlihaskiintymisen suhteellisten erojen arviointiin. Menetelmä perustuu laskimoon annostellun radioaktiivisen gamma- säteilevän merkkiaineen (Suomessa ^{99m}Tc-sestamibi tai ^{99m}Tc-tetrofosmiini) kertymiseen ja jakautumiseen vasemman kammion sydänlihaksessa verenkierro mukaisesti. Kuvien analyysi perustuu merkkiainekertymän suhteellisiin alueellisiin eroihin, jolloin heikommin perfusoituva sydänlihasalue voi olla merkki toiminnallisesti mer-

kittävästä sepelvaltimoahtaumasta. Lisäksi saadaan karkea arvio vasemman kammion koosta ja ejektiofraktiosta. Tutkimus sisältää yleensä erilliset lepo- ja rasituskuvaukset, joista viimeksi mainittu voidaan toteuttaa fyysisenä rasituksena polkupyöräergometrilla tai käyttäen lääkkeellistä vasodilataatiota (adenosiini tai regadenosoni), jolloin kuvaus aloitetaan 0,5–1 tuntia merkkiaineen annon (rasituksen) jälkeen.

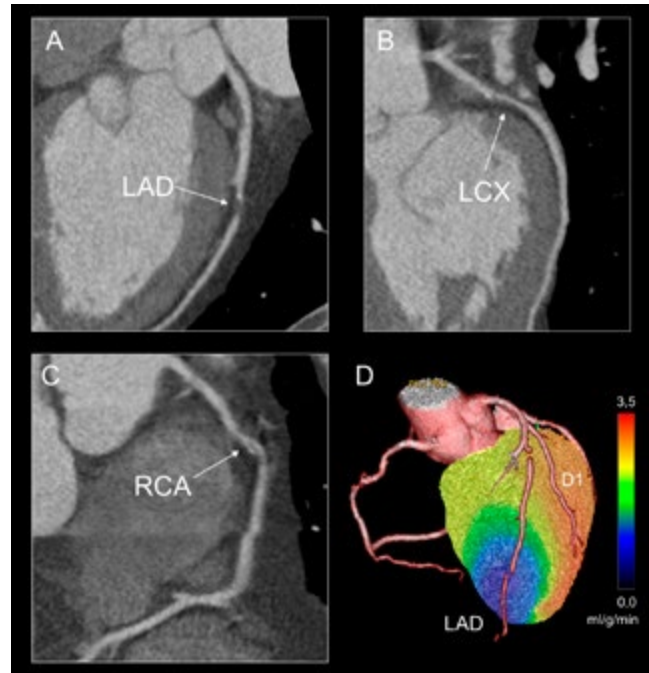
SPECT-perfuusiokuvantamisen keskeinen etu on hyvä saatavuus ja pitkä kliininen kokemus. Tutkimuksen potilaalle aiheuttama sädeannos riippuu laitteistosta ja protokollasta mutta on suhteellisen suuri (noin 10 mSv, vastaten noin 1,5 vuoden taustasäteilyä) (18), ja siten menetelmä soveltuu parhaiten iäkkäille. Sädeannosta voidaan pienentää jättämällä lepoaiheen kuvaus tekemättä, mikäli rasituskuvauksen löydös on ollut normaali (*stress-only*- ja *stress-first*-protokollat). Useat nykyiset SPECT-kuvauslaitteet mahdollistavat myös TT-kuvantamisen, jolloin TT-kuvaukseen perustuvalla attenuaatiokorjauksella voidaan vähentää artefakteja, jotka aiheutuvat säteilyn vaimenemisesta kudoksissa.

Virheellisiä löydöksiä voidaan tavata esimerkiksi monisuoni- tai päärunkotaudissa, joissa sydänlihaskemia voi jäädä havaitsematta tai näyttäytyä todellista lievempänä johtuen perfuusion (tasaisesta) heikentymisestä sydänlihaksessa kauttaaltaan (19). Kofeiinituotteiden käyttö ennen tutkimusta voi johtaa virheelliseen tulokseen lääkkeellisen vasodilataattorirasituksen yhteydessä, kun taas fyysisistä rasitusta sovellettaessa suorituskyky voi olla rajoittunut ei-sepelvaltimotautiperäisistä syistä. Sydämentahdistin, huono liikuntakyky, munuaisten vajaatoiminta, yliherkkyys jodille tai klaustrofobia ei ole este tutkimukselle. Myöskään vasen haarakatkos ei ole este, mutta se tulee huomioida tulkinnassa.

Positroniemissiotomografia

ESC suosittaa positroniemissiotomografiaa (PET) ensisijaisena toiminnallisena sydänlihasperfuusion kuvantamismenetelmänä (2). Keskeinen etu tavanomaiseen SPECT-kuvantamiseen verrattuna on sen kvantitatiivinen luonne: sydänlihaksen verenvirtausta kullakin sydänlihaskudoksella voidaan mitata absoluuttisesti (ml/g/min), jolloin tulkinta ei ole riippuvainen pelkästään eri alueiden välisistä suhteellisista virtauseroista. Käytännössä tämä tarkoittaa parempaa herkkyyttä ahtauttavan sepelvaltimotaudin toteamisessa ja voi tarkentaa iskemian laajuuden arviointia etenkin monisuonitautissa (5, 16, 19). Kvantitaation myötä PET-tutkimuksella voidaan havaita myös pienten suonten toimintahäiriöstä (mikrovaskulaaridysfunktioista) johtuva alenema sydänlihaksen verenvirtauksessa (20). PET- ja SPECT-perfuusiotutkimusten tulkinta eroaa toisistaan etenkin käytettävien parametrien ja niiden raja-arvojen suhteen. On huomioitava, että PET-perfuusiotutkimuksessa todetun verenvirtauksen aleneman taustalla voi olla muukin syy kuin epikardiaalisen sepelvaltimon ahtauma (esim. vasemman kammion systolinen toimintahäiriö) (20, 21). Anatominen tieto sepelvaltimotilanteesta (sepelvaltimoiden TT tai kajoava angiografia) voikin auttaa perfuusiolöydösten tulkinnassa.

Vaikka PET-kuvauslaitteita on jo useissa keskussairaaloisakin, niiden käyttöä sydänlihasperfuusion kuvantamisessa rajoittaa nykyisin Suomessa käytetyn PET-perfuusiomerkkiaineen (^{15}O)H₂O:n eli ns. radioveden) lyhyt puoliintumisaika (noin 2 minuuttia). Sen tuottamiseksi tarvitaan paikallinen syklotroni, ja menetelmä on tällä hetkellä saatavissa vain Turus-



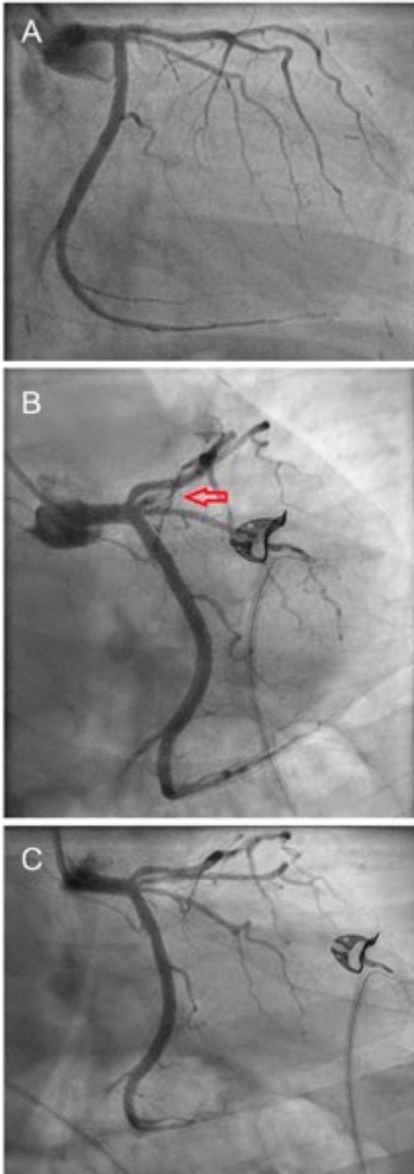
KUVA 5. Potilaalla, jolla oli oireena rasisurintakipua, esiintyi vain hyvin vähäistä sepelvaltimokalkkia (calcium score 7), mutta sepelvaltimoiden TT-tutkimuksessa todettiin anatomisesti merkittävät (> 50 %) kaventumat kaikissa pääsuonissa (A, B, C). Jatkotutkimuksena tehty sydänlihasperfuusion radiovesi-PET-tutkimus osoittaa, että adenosinistimuloitu verenvirtaus on alentunut LAD-suonen alueella (D; sininen värisävy) eli kyseinen ahtauma on toiminnallisesti merkittävä (hoidettiin myöhemmin perkutaanisella toimenpiteellä).

D1 = ensimmäinen diagonaalihaara, LAD = vasen eteen laskeva haara, LCX = vasen kiertävä haara, RCA = oikea sepelvaltimo.

sa, Kuopiossa ja Helsingissä. Radiovesi-PET-tutkimuksen säde-
rasitus on pieni (1–2 mSv) (18). Kuvaus on kestoltaan 5–10 minuuttia ja toteutetaan dynaamisena, eli merkkiaine annostellaan laskimoon automaattisella laitteistolla potilaan maastessa kuvauslaitteessa. Rasitusprovokaatio tapahtuu lääkkeellisesti adenosinilla ja edellyttää pidättäytymistä kofeiinituotteista 24 tunnin ajan ennen tutkimusta. Erillisistä lepo- ja rasituskuvauksista voidaan laskea sydänlihaksen virtausreservi, mutta usein pelkkä rasituskuvauskin on diagnostiikkaan riittävä, ellei potilaalla ole tiedossa tai epäillä sairastettua sydäninfarktia (arpea) (22). Uudet fluori-18-leimatut PET-perfuusiomerkkiaineet voivat jatkossa parantaa menetelmän saatavuutta (23).

Kuvantamismenetelmien yhdistäminen ja muut menetelmät

Anatomisten ja toiminnallisten kuvantamismenetelmien antamaa tietoa voidaan myös yhdistää ja näin pyrkiä parantamaan diagnostista tarkkuutta (2). Sepelvaltimoiden TT-tutkimusta voidaan esimerkiksi käyttää ensilinjan kuvantamismenetelmänä, ja mikäli siinä todetaan anatomisesti merkittävä ($\geq 50\%$) sepelvaltimoahtauma, voidaan ahtauman toiminnallista merkitystä arvioida PET-perfuusiotutkimuksella ja näin ollen löytää sellaiset potilaat, jotka voisivat hyötyä kajoavista jatkotutkimuksista (9, 24) (kuva 5). Lisäksi on huomionarvoista, että normaalista perfuusiolöydöksestä huolimatta potilaalla voi olla sepelvaltimoissa ateroskleroosia ja toiminnallisesti ei-



KUVA 6. Ensimmäisessä kuvassa (A) ei näy selitystä potilaan sydäninfarktille. Vasta jyrkempi kaudaalikallistus (B) paljastaa tukkeutuneen IM-haaran (nuoli). Tähän tehtiin pallolaajennus lääkepallolla (C).



KUVA 7. Noin viisi sekuntia varjoaineruiskutuksen jälkeen otetussa kuvassa näkyy sydämen laskimojärjestelmä. Nuolella on merkitty vajaatoimintatahdistimen vasemman kammion johdolle sopiva laskimohaara.

merkittäviä sepelvaltimoahtauksia. ESC suosittelee nykyisin, että perfuusio-kuvantamisen yhteydessä arvioitaisiin sepelvaltimokalkin määrää esimerkiksi attenuaatiokorjaukseen käytetyistä TT-kuvista (2).

Isotooppimenetelmien lisäksi sydänlihasperfuusiota voidaan mitata myös TT- ja magneettikuvausmenetelmillä, mutta nämä eivät ole vakiinnuttaneet asemaansa Suomessa sydänlihaskemian arvioinnissa. Rasisultraäänitutkimuksella voidaan puolestaan nähdä rasisuksen provosoima sydänlihaksen iskeeminen paikallinen supistumishäiriö (25), mutta myös tämän menetelmän käyttö on suhteellisen vähäistä ja vaatii kokemusta.

Kajoavat sepelvaltimotaudin tutkimusmenetelmät

Sepelvaltimoiden varjoainekuvauks

Sepelvaltimoiden varjoainekuvauks soveltuu kroonisen sepelvaltimo-oireyhtymän tutkimusmenetelmäksi, jos taudin kliininen ennakkotodennäköisyys on erittäin suuri (> 85 %) tai jos oireet ovat siinä määrin hankalat, että kajoava hoito pallolaajennuksella tai ohitusleikkauksella on perusteltua. Varjoainekuvauks suositellaan myös, jos kajoamattomissa tutkimuksissa todetaan suuren vaaran merkkejä, kuten vasemman kammion alentunut ejektiofraktio, kammiorytmihäiriöitä tai laaja-alaiseen sepelvaltimotautiin tai päärunkoahtaukseen sopivia piirteitä (1, 2). Äkillisessä sepelvaltimotautikohtauksessa suositellaan sepelvaltimoiden kajoavaa varjoainekuvauks, joskin sepelvaltimoiden tietokonetomografiaa voidaan harkita poissulkututkimuksena suuren vaaran piirteiden puuttuessa ja ennakkotodennäköisyyden ollessa pieni (26). Sepelvaltimot tutkitaan ennen sydänkirurgiaa usein kajoavasti, etenkin jos sepelvaltimotauti on todennäköinen.

Varjoainekuvauksessa viedään muotoiltu katetri yleisimmin värttinävaltimon kautta sepelvaltimon suuaukole ja ruiskutetaan jodivarjoainetta suoraan sepelvaltimoon. Ruiskutuksen aikana otetussa röntgenkuvasarjassa nähdään varjoaineen virtaus sepelvaltimossa ja mahdolliset ahtaumat suonessa. Menetelmä on hyvin herkkä ja tarkka sepelvaltimoahtauksien osoittamiseen. Huomiota on kuitenkin kiinnitettävä tutkimuksen tekniseen laatuun virhetulkintojen välttämiseksi. Varjoaineruiskutuksen on oltava riittävän voimakas, jotta varjoaineen takaisinvirtaus aorttaan mahdollistaa myös sepelvaltimon suuaukon arvioimisen. Etenkin vasenta sepelvaltimoa tutkittaessa kuvasarjoja on otettava riittävän monesta suunnasta, jotta kaikki haarat nähdään ilman tulkintaa hankaloittavaa lyhentymää ja siten, että toinen haara ei peitä mahdollista ahtauma-alueen taakse (kuva 6). Tutkimuksen yhteydessä on myös mahdollista ottaa varjoainekuvauks sydämen laskimojärjestelmästä viitisen sekuntia ruiskutuksen jälkeen, mistä on apua vajaatoimintatahdistimen asennusta suunniteltaessa (kuva 7).

Tavallisimmin sepelvaltimoiden varjoainekuvauks kestää kymmenisen minuuttia ja samassa istunnossa tehty pallolaajennus vartista kahteen tuntiin. Yleisanestesiaa ei tarvita. Ranteessa pidetään painantalaitetta pari tuntia toimenpiteen jälkeen, ja potilas voi yleensä kotiutua samana päivänä. Kyseessä ei siis ole sellainen raskas ja kajoava toimenpide, jonka tarjoamista ikäihmisille tulisi erityisesti välttää, mutta sen oikeutus tulee arvioida punniten mahdolliset riskit ja hyödyt, etenkin mahdolliset vuotokomplikaatiot pallolaajennuksen jälkeisen antitromboottisen lääkityksen aikana. Toimenpidekomplikaatiot ovat kuitenkin harvinaisia, eikä niiden vaaran vuoksi tule jättää tekemättä kliinisesti perusteltua tutkimusta. Konservatiivinen hoito on kuitenkin mielekkäin vaihtoehto, jos potilaan kognitio on niin heikko, että hän ei kykene antamaan tietoisista suostumustaan tutkimukseen, ei ymmärrä tutkimuksen tarkoitusta tai ei kykene olemaan paikallaan toimenpidepöydällä.

Yleisimpiä komplikaatioita ovat punktiopaikan verenvuodot ja pseudoaneurysmat. Verenvuotovaara on suurempi nivusvaltimoreittiä käytettäessä. Sepelvaltimon dissekoituminen varjoaineruiskutuksen yhteydessä on hyvin harvinaisen mutta henkeä uhkaava komplikaatio. Verihyytymän muodostuminen toimenpidevälineisiin ja emboloituminen on hyvin harvinaista, jos veren hyytymistä estävästä lääkityksestä on huolehdittu asianmukaisesti. Toisaalta tutkimuksen yhteydessä käytetään veren hyytymistä estäviä lääkkeitä, minkä vuoksi

TAULUKKO.

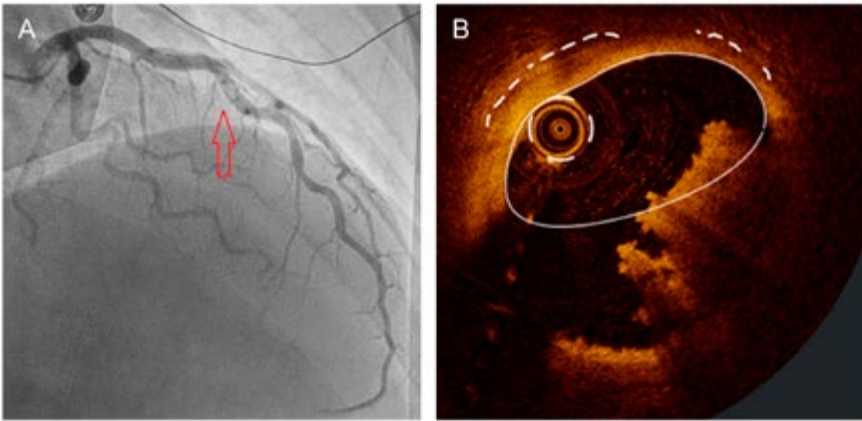
Modaliteetti	Kenelle soveltuu?	Kenelle ei?	Haasteet ja komplikaatiot
Sepelvaltimoiden tietokone-tomografia (TT)	<ul style="list-style-type: none"> oireiset potilaat, joilla on pieni (> 5–15 %) tai kohtalainen (> 15–50 %) kliininen ennakkotodennäköisyys harkiten, jos halutaan varmuudella sulkea pois ahtauttava sepelvaltimotauti oireisilla potilailla, joilla ennakkotodennäköisyys on erittäin pieni (≤ 5 %) sepelvaltimoiden anomalioiden ja fisteleiden poissulku nuorilla läppäleikkaukseen menevillä potilailla 	<ul style="list-style-type: none"> vakava yliherkkyys jodivarjoaineille vaikea munuaisten vajaatoiminta 	<ul style="list-style-type: none"> anatomisena kuvausmenetelmänä ei pysty arvioimaan ahtauman hemodynaamista merkitystä, jolloin tarvitaan toiminnallisia kuvantamismenetelmiä runsaat sepelvaltimokalkit hankaloittavat luumenin kaventuma-asteen arviointia voidaan hyödyntää ohitusiirteiden kuvantamisessa ja yli 3,5 mm:n stenttien arvioimisessa, mutta pitkälle edennyt natiivisuonten ateroskleroosi voi vaikeuttaa arviointia epäsäännöllinen tai nopea syke voi aiheuttaa artefakteja ja heikentää tutkimuksen luotettavuutta potilaan lihavuus vaikuttaa kuvien laatuun ja hankaloittaa analyysia
Sydänlihaksen perfuusio-kuvantaminen (SPECT ja PET)	<ul style="list-style-type: none"> oireiset potilaat, joilla kohtalainen tai suuri (> 15–85 %) kliininen ennakkotodennäköisyys kun potilaalla on aiemmin todettu ahtauttava sepelvaltimotauti kun halutaan selvittää sydänlihaskemian yhteyttä oirekuvaan kun halutaan osoitus sydänlihaskemiasta ennen sepelvaltimotaudin kajoavaa hoitoa 	<ul style="list-style-type: none"> fyysisen rasituksen (polkupyöräergometrian) vasta-aiheet (SPECT) lääkkeellisen vasodilataattorirasituksen vasta-aiheet (SPECT ja PET), esim. <ul style="list-style-type: none"> akuutti sepelvaltimotauti-kohtaus vaikea astma tai keuhko-ahtaumatauti korkeamman asteen eteis-kammiokatkos sinussolmukkeen toimintahäiriö ilman tahdistinta oireinen/vaikea aorttastenoosi tai hypertrofinen obstruktiivinen kardiomyopatia matala tai huomattavan korkea verenpaine akuutti aivoverenkiertohäiriö 	<ul style="list-style-type: none"> toiminnallisena kuvausmenetelmänä ei anna anatomista tietoa (ateroskleroosin aste ja ahtaumat) säderasitus SPECT-perfuusiotutkimuksessa (PET-perfuusiotutkimuksessa pieni) PET-merkkiaineiden toistaiseksi rajallinen saatavuus (vaatii paikallisen syklotronin) kvantitatiivista PET-perfuusiotutkimusta tulkittaessa tulee huomioida muut verenvirtausta alentavat syyt kuin epikardiaalisen sepelvaltimon ahtautumisen edeltävä kofeiinin käyttö voi vääristää tuloksia lääkkeellisen vasodilataation yhteydessä
Kajoavat menetelmät	<ul style="list-style-type: none"> kun sepelvaltimotauti on todennäköinen ja oirekuva on vaikea epäily akuutista sepelvaltimotautikohtauksesta epäily ennusteellisesti merkittävästä monisuonitaudista tai päänrunkoahtaumasta muiden tutkimusten pohjalta sepelvaltimotautiepäily ja vasemman kammion vajaatoiminta 	<ul style="list-style-type: none"> vakava yliherkkyys jodivarjoaineille vaikea munuaisten vajaatoiminta 	<ul style="list-style-type: none"> toimenpidekomplikaatiot varjoainenefropatia

aktiivinen verenvuoto on yleensä este tutkimuksen tai ainakin pallolaajennuksen tekemiselle. Ilmaemboliat seurauksineen ovat hyvin harvinaisia.

Säderasitus on pelkässä varjoainekuvauksessa maltillinen (2–10 mSv) mutta voi kasvaa merkittäväksi monimutkaisessa pallolaajennustoimenpiteessä. Jodivarjoaineen käyttöön voi liittyä anafylaktisia reaktioita ja munuaisvaurioita. Kokeneen lääkärin tekemässä varjoainekuvauksessa varjoainetta kuluu yleensä 30–50 millilitraa, ja verisuonensisäistä ultraäänikuvantamista käyttäen myös pallolaajennushoito voidaan toteuttaa vähäisellä varjoainekuormalla. Nyrkkisääntö on, että munuai-

sille turvallinen maksimaalinen varjoainemäärä on munuais-suodosnopeus (GFR) *3 (27). Varjoaineen aiheuttama munuaisvaurio on olennainen vaara etenkin potilailla, joilla vasemman kammion ejektiofraktio on alentunut, munuaisten toiminta on heikentynyt ja joilla on akuutti sydämen vajaatoiminnan vaikeutusvaihe.

Pienellä potilasjoukolla verisuonireitin puute estää varjoainekuvauksen tekemisen. Varjoainekuvauksen hyöty-riskisuhde voi olla epäedullinen, mikäli molemmat väärtinävaltimoreitit ovat tukossa aiempien varjoainekuvausten jäljiltä ja nivusvaltimot ovat vaikeasti kalkkeutuneet ja ahtauneet,



KUVA 8. Potilaalla oli rintakipua ja kohtalainen troponiinipäästö. Sepelvaltimot olivat isokaliperiset ja virtasivat normaalisti. Vasemmassa eteenlaskevassa sepelvaltimossa näkyi kuitenkin utuisuutta (A, nuoli). Valokerroskuvauksessa paljastui tromboottinen plakkiruptuura (B).

mikä lisää komplikaatioiden vaaraa. Näissä tilanteissa varjoainekuvauksen välttämättömyyttä kannattaa arvioida yhdessä toimenpidelääkärin kanssa.

Painevajeritutkimus

Sepelvaltimoiden varjoainekuvauksen yhteydessä todettujen ahtaumien toiminnallista eli hemodynaamista merkitystä voidaan arvioida painevajeritutkimuksella. Tutkimuksessa vietään ohut paineanturilla varustettu vajeri sepelvaltimoahtauksen distaalipuolelle. Verenpainetta mitataan samanaikaisesti aortasta toimenpidekatetrilla. Hiuksuoniston verenvirtaus maksimoidaan yleisimmin adenosiinilla tai regadenosonilla, ja näin simuloidaan rasituksenaikaisia verenkierroolosuhteita. Ahtaumaa pidetään hemodynaamisesti merkittävänä, jos verenpaine suonen latvassa on selvästi matalampi kuin aortassa (painesuhde $\leq 0,80$). Kroonisessa sepelvaltimo-oireyhtymässä toiminnallisesti merkittävien ahtaumien revaskularisaatiohoito vähentää myöhemmin ilmenevää kiireellisen revaskularisaation tarvetta ja meta-analyysin perusteella myös sydäninfarktin ja kuoleman yhdistelmäpäätetapahtumaa, kun taas lievempien ahtaumien kajoava hoito ei ole perusteltua (28, 29). Painevajeritutkimus on usein tarpeellinen, sillä kireänkin näköinen ahtauma voi olla virtausta rajoittamaton, jos suoni kuljettaa verta vain pieneen osaan sydänlihasta tai arpialueelle.

Sepelvaltimotaudin kuvantamiseen on olemassa useita kajoamattomia ja kajoavia menetelmiä, joista osa perustuu sepelvaltimoahtauksen anatomiseen osoitukseen, kun taas toiset paljastavat ahtauksen aikaan saaman sydänlihaskemian.

Toisaalta kohtalaisenkin näköinen ahtauma voi aiheuttaa sydänlihaskemiaa, jos suonitusalue on laaja. Painevajeritutkimus voi vaikuttaa myös revaskularisaatiohoitomuodon valintaan monisuonitautipotilailla (30).

Painevajeritutkimuksen yhteydessä voidaan tutkia myös sydämen arteriolien ja hiussuonten toimintaa. Sepelvaltimon mikroverenkierron vastus voidaan laskea, kun tiedetään paineolosuhteet sepelvaltimossa ja mitataan painevajerissa olevalla lämpötila-anturilla vesiboluksen etenemistä suonessa. Kun mittaukset tehdään lepotilassa ja vasodilataation aikana, voidaan laskea myös sepelvaltimon virtausreservi. Mikroverenkierron toimintahäiriön toteaminen antaa selityksen potilaan oireille, jos ahtauttavaa epikardiaalisuonten sepelvaltimotautia ei todeta, ja ohjaa myös oirelääkevalintoja.

Sepelvaltimonsisäinen kuvantaminen

Sepelvaltimoiden varjoainekuvauksen yhteydessä voidaan täydentää diagnostiikkaa kuvantamalla sepelvaltimoa valokerroskuvauksella, suonensisäisellä ultraäänikuvauksella tai NIRS-kuvauksella (*near-infrared spectroscopy*). Intravaskulaarikuvantamisella voidaan osoittaa spontaani sepelvaltimodissekatio sekä sepelvaltimon endoteelivaurio ja tromboosi tilanteissa, jotka kliinisesti muistuttavat sydäninfarktia mutta joissa ei näy selvää syyllisahtaumaa (kuva 8). Tärkein käyttöaihe intravaskulaarikuvantamiselle on kuitenkin pallolaajennushoidon optimointi. Kuvantamalla nähdään, koostuuko ahtauma rasvaiseesta, sidekudospitoisesta vai kalkkisesta materiaalista. Tämän perusteella arvioidaan, tarvitaanko ahtauksen käsitteilyyn erikoistyökaluja (rotablaatio, orbitaalinen aterektomia, litotripsia), jotta suoni saadaan turvallisesti laajennettua normaaliin kokoonsa. Kuvantamisella saadaan selvitettyä myös suonen tarkat mitat pallojen ja stenttien koon valintaa varten siten, että stentin reunat asettuvat riittävän terveille alueille sepelvaltimossa. Haaraumakohtien monimutkaisessa stenttihoitossa voidaan myös varmistaa, ettei toimenpidevajeri kulje stentin ja suonen seinämän välissä, sillä pallon laajentaminen tällaisessa paikassa nostaisi ison määrän metallia keskelle suonta ja jättäisi osan ahtauma-alueesta kattamatta. Lopputuloksen varmistaminen voi paljastaa, että stentti on osittain ali-laajentunut, ja tilanne voidaan vielä korjata jälkilaajentamalla, sillä korjaamattomana tämä lisäisi uudelleenahautumisen riskiä. Yhtä lailla varmistetaan, että stentti on koko matkaltaan kiinni suonen seinämissä, ja tarvittaessa korjataan tilanne, sillä

Ahtauttavan sepelvaltimotaudin kliininen ennakkotodennäköisyys, potilaskohtaiset tekijät ja paikallinen saatavuus ohjaavat menetelmien valintaa, ja toisinaan voi olla hyödyllistä yhdistää eri menetelmillä saatavaa tietoa.

malappositio altistaa stentt tromboosille. Suonensisäisen kuvantamisen käyttöä suositellaan monimutkaisissa pallolaajennustoimenpiteissä, sillä sen on todettu lukuisissa tutkimuksissa vähentävän stentt tromboosin ja uudelleenahautumisen vaaraa sekä meta-analyysitasolla kuolleisuutta (2, 31).

Asetyylikoliinitesti

Sepelvaltimoiden varjoainekuvauksen yhteydessä voidaan ruiskuttaa sepelvaltimoon kasvavia annoksia asetyylikoliinia sepelvaltimoiden spasmitaipumuksen osoittamiseksi, jos epäillään sepelvaltimoiden spasmitautia eli Prinzmetalini anginaa. Tutkimukseen liittyy komplikaatioiden vaara, sillä raju sepelvaltimospasmi voi johtaa elvytystilanteeseen tai kammio-rytmihäiriöiden provosoitumiseen siitä huolimatta, että suoraan sepelvaltimoon annosteltavaa nitraattia on nopeasti saatavilla tilanteen laukaisemista varten. Tutkimuksen ongelma on myös rajallinen tarkkuus, sillä asetyylikoliini voi aiheuttaa sepelvaltimospasmin myös henkilöille, joilla ei ole sepelvaltimospasmitaudin oireita. Erotusdiagnostisesti hankalissa ja vaikeaoireisissa tilanteissa tutkimus on kuitenkin aiheellinen (2).

Lopuksi

Sepelvaltimotaudin määritelmä on muuttumassa, ja hoidossa korostuvat tautiprosessin pysäyttäminen ja oireiden lievittäminen. Sepelvaltimotaudin kuvantamiseen on olemassa useita kajoamattomia ja kajoavia menetelmiä, joista osa perustuu sepelvaltimoahtauman anatomiseen osoitukseen, kun taas toiset paljastavat ahtauman aikaan saaman sydänlihaskemian. Ahtauttavan sepelvaltimotaudin kliininen ennakkotodennäköisyys, potilaskohtaiset tekijät ja paikallinen saatavuus ohjaavat menetelmien valintaa, ja toisinaan voi olla hyödyllistä yhdistää eri menetelmillä saatavaa tietoa. Tekninen kehitys, mukaan lukien tekoäly, luo uusia mahdollisuuksia mutta myös haasteita sepelvaltimotaudin kuvantamiseen. Diagnostisten menetelmien tarkoituksenmukainen käyttö edellyttää asianmukaista koulutusta ja niiden tulkinta asiantuntemusta ja kokemusta. ■

Viitteet

1. Krooninen sepelvaltimo-oireyhtymä. Käypä hoito -suositus 2022.
2. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC, ym. 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J.* 2024;45(36):3415–537.
3. Winther S, Schmidt SE, Foldyna B, ym. Coronary Calcium Scoring Improves Risk Prediction in Patients With Suspected Obstructive Coronary Artery Disease. *J Am Coll Cardiol.* 2022;80(21):1965–77.
4. Einstein AJ, Williams MC, Weir-McCall JR, ym. Worldwide Radiation Dose in Coronary Artery Disease Diagnostic Imaging. *JAMA.* 2026;e260703.
5. Knuuti J, Ballo H, Juarez-Orozco LE, ym. The performance of non-invasive tests to rule-in and rule-out significant coronary artery stenosis in patients with stable angina: A meta-analysis focused on post-test disease probability. *Eur Heart J.* 2018;39(35):3322–30.
6. Min JK, Dunning A, Lin FY, ym. Age- and sex-related differences in all-cause mortality risk based on coronary computed tomography angiography findings results from the International Multicenter CONFIRM (Coronary CT Angiography Evaluation for Clinical Outcomes: An International Multicenter Registry) of 23,854 patients without known coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol.* 2011;58(8):849–60.
7. Williams MC, Hunter A, Shah ASV, ym. Use of Coronary Computed Tomographic Angiography to Guide Management of Patients with Coronary Disease. *J Am Coll Cardiol.* 2016;67(15):1759–68.
8. Williams MC, Wereski R, Tuck C, ym. Coronary CT angiography-guided management of patients with stable chest pain: 10-year outcomes from the SCOT-HEART randomised controlled trial in Scotland. *Lancet.* 2025;405(10475):329–37.
9. Maaniitty T, Mäenpää M, Harjulahti E, ym. Lipid-Lowering Medication and Outcomes After Anatomical and Functional Imaging in Suspected Coronary Artery Disease. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2025;18(1):62–73.
10. Budoff MJ, Shaw LJ, Liu ST, ym. Long-term prognosis associated with coronary calcification: observations from a registry of 25,253 patients. *J Am Coll Cardiol.* 2007 May 8;49(18):1860–70.
11. Molnar D, Knuuti J, Bax JJ, ym. Sex differences in plaque burden and outcomes in symptomatic patients with suspected coronary artery disease. *Int J Cardiol.* 2026;444:134023.
12. Pontone G, Mushtaq S, Pizzi C, ym. Photon-counting computed tomography: a revolution in cardiac imaging. *Eur Heart J.* 2026;ehaf1118.
13. Chen J, Wetzel LH, Pope KL, ym. FFR-CT: Current Status. *AJR Am J Roentgenol.* 2021;216(3):640–8.
14. Maaniitty T, Bär S, Nabeta T, ym. Prognostic Value of a Coronary Computed Tomography Angiography-Derived Ischemia Algorithm: Comparison Against Hybrid Coronary Computed Tomography Angiography/Positron Emission Tomography Imaging. *J Am Heart Assoc.* 2025;14(22):e040726.
15. Chandrashekar Y, Blankstein R, Shaw LJ, ym. Quantitative Coronary Plaque Analysis in Clinical Practice: 2025 ACC Scientific Statement: A Report of the American College of Cardiology. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2025;S1936-878X(25)00654-0.
16. Danad I, Rajmakers PG, Driessen RS, ym. Comparison of coronary CT angiography, SPECT, PET, and hybrid imaging for diagnosis of ischemic heart disease determined by fractional flow reserve. *JAMA Cardiol.* 2017;2(10):1100–7.

17. Patel KK, Spertus JA, Chan PS, ym. Myocardial blood flow reserve assessed by positron emission tomography myocardial perfusion imaging identifies patients with a survival benefit from early revascularization. *Eur Heart J.* 2020;41(6):759–68.
18. Kuurne I. Isotooppiutkimukset ja -hoidot Suomessa vuonna 2021. Terveystieteiden tutkimusraportti. STUK-B 297.
19. Maaniitty T, Stenström I, Saraste A, Knuuti J. Extensive and balanced reduction of myocardial blood flow in patients with suspected obstructive coronary artery disease: 150-water PET study. *Int J Cardiol.* 2021;338(2021):1–7.
20. Stenström I, Maaniitty T, Uusitalo V, ym. Frequency and angiographic characteristics of coronary microvascular dysfunction in stable angina: A hybrid imaging study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2017;18(11):1206–13.
21. Neglia D, Michelassi C, Giovanna Trivieri M, ym. Prognostic role of myocardial blood flow impairment in idiopathic left ventricular dysfunction. *Circulation.* 2002;105(2):186–93.
22. Danad I, Uusitalo V, Kero T, ym. Quantitative assessment of myocardial perfusion in the detection of significant coronary artery disease: Cutoff values and diagnostic accuracy of quantitative [¹⁵O]H₂O PET imaging. *J Am Coll Cardiol.* 2014;64(14):1464–75.
23. Maddahi J, Agostini D, Bateman TM, ym. Flurpiridaz F-18 PET Myocardial Perfusion Imaging in Patients With Suspected Coronary Artery Disease. *J Am Coll Cardiol.* 2023;82(16):1598–610.
24. Stenström I, Maaniitty T, Uusitalo V, ym. Absolute Stress Myocardial Blood Flow After Coronary CT Angiography Guides Referral to Invasive Angiography. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2019;12:2266–2267.
25. Al-Lamee RK, Shun-Shin MJ, Howard JP, ym. Dobutamine Stress Echocardiography Ischemia as a Predictor of the Placebo-Controlled Efficacy of Percutaneous Coronary Intervention in Stable Coronary Artery Disease: The Stress Echocardiography-Stratified Analysis of ORBITA. *Circulation.* 2019;140(24):1971–80.
26. Sepelvaltimotautikohtaus. Käypä hoito -suositus 2022.
27. Kooiman J, Seth M, Share D, ym. The association between contrast dose and renal complications post PCI across the continuum of procedural estimated risk. *PLoS One.* 2014;9(3):e90233.
28. De Bruyne B, Pijls NHJ, Kalesan B, ym. Fractional Flow Reserve-Guided PCI versus Medical Therapy in Stable Coronary Disease. *N Engl J Med.* 2012;367(11):991–1001.
29. Zimmermann FM, Omerovic E, Fournier S, ym. Fractional flow reserve-guided percutaneous coronary intervention vs. medical therapy for patients with stable coronary lesions: Meta-Analysis of individual patient data. *Eur Heart J.* 2019;40(2):180–6.
30. Kobayashi Y, Takahashi T, Zimmermann FM, ym. Outcomes Based on Angiographic vs Functional Significance of Complex 3-Vessel Coronary Disease: FAME 3 Trial. *JACC Cardiovasc Interv.* 2023;16(17):2112–9.
31. Stone GW, Christiansen EH, Ali ZA, ym. Intravascular imaging-guided coronary drug-eluting stent implantation: an updated network meta-analysis. *Lancet.* 2024;403(10429):824–837.

Sidonnaisuudet:

- Maria Istomina: osakkeet (Sataman Sydän Oy), työntäjän määräämät kongressikoulutusmatkat (Novartis).
- Juha Vornanen: ei sidonnaisuuksia.
- Antti Eranti: kouluttajapalkkio (Boston Scientific), osallistuminen koulutukseen yrityksen tuella (Amarin, B. Braun, Boston Scientific, Cardirad, Medtronic), osakeomistus (Nexstim, Osgenic, ResMed, Revenio).
- Teemu Maaniitty: tutkimusrahoitus (Suomen Akatemia, Valtion tutkimusrahoitus/Tyks, Cleerly Inc.), luontopalkkiot (Suomen Kardiologinen Seura).

Ilmoitus

Vajaatoiminta- ja kardiomyopatiapotilaiden kuvantaminen

Riitta Paakkanen, LT, dos., kardiologian erikoislääkäri, Hus Uusi lastensairaala ja HY

Elina Kariniemi, kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäri, Kys Kuvantamiskeskus

Marjo Okkonen, LT, kardiologian erikoislääkäri, Oys Sydän

Markku Pentikäinen, LKT, dos., kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus

Tiina Heliö, LKT, dos., kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus

Tiivistelmä

Sydänkuvantamisella on keskeinen rooli sydämen vajaatoiminnan diagnosoinnissa, seurannassa sekä hoitojen valinnassa. Sepelvaltimotauti, verenpainetauti ja läppäviat aiheuttavat valtaosan sydämen vajaatoimintatapauksista, mutta kardiomyopatiat ovat niiden lisäksi eräs tärkeä tekijä. Kardiomyopatioiden luokitus muuttui vuonna 2023, kun Euroopan kardiologinen seura julkaisi uudet hoitosuosituksen. Kardiomyopatioiden luokitus pohjautuu yhä sydänkuvantamisella saatavaan tietoon muutoksista sydämen koossa ja rakenteessa. Muutosten taustalla olevat syysairaudet pyritään mahdollisuuksien mukaan tunnistamaan.

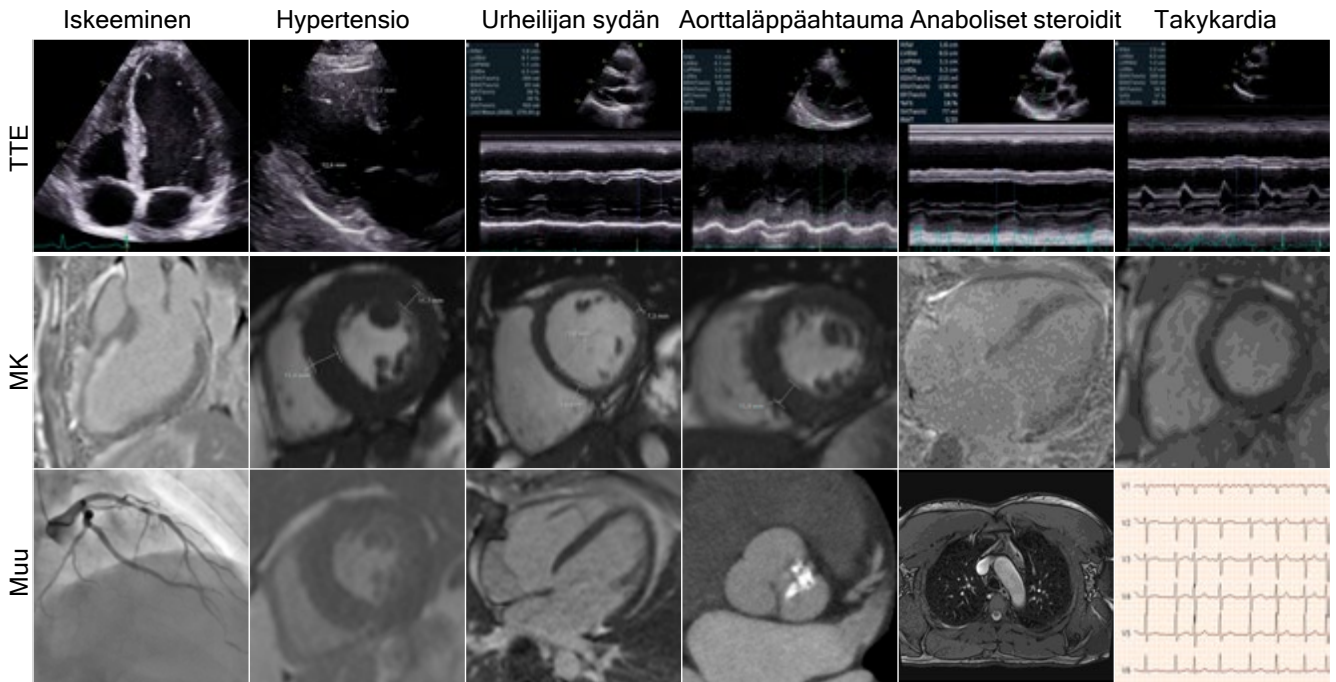
Johdanto

Sydämen kuvantamismenetelmien teknologinen kehitys ja se, miten hyvin eri kuvantamismodaliteetteja voidaan käyttää sydämen rakenteen ja toiminnan arvioinnissa, tulevat erinomaisesti esiin sydämen vajaatoimintapotilaiden ja eri kardiomyopatiapotilaiden tutkimisessa (taulukko 1). Tässä katsauksessa käydään läpi kliinisestä lähtökohdasta, miten eri modaliteetteja käytetään eri potilasryhmissä. Tarkasteltavat modaliteetit ovat ultraäänitutkimus (UÄ) tietokonetomografia (TT), magneettikuvantaminen (MK), SPECT-kuvantaminen (*single-photon emission computed tomography*) sekä postironiemiemitomografia (PET).

Taulukko 1. Vajaatoimintapotilaan ja kardiomyopatioiden diagnostiset kuvantamistutkimukset

Tutkimus	Mitä arvioidaan	Rooli DCM:ssä	Rooli HCM:ssä	Rooli HOCM:ssä	Rooli ARVC:ssä	Rooli NDLC:ssä	Rooli RCM:ssä
TTE	LV/RV koko, EF, seinämän liike, diastolinen toiminta, läppäviat	Ensilinjan tutkimus	Ensilinjan tutkimus	Ensilinjan tutkimus Valsalva	Ensilinjan tutkimus	Ensilinjan tutkimus	Ensilinjan tutkimus
MK	LV/RV tilavuudet, EF, LGE, T1/T2 mapping, fibroosin määrä	Diagnoosi, etiologinen selvitys, riskiarvio	Diagnoosi, fenotyyppi, erotusdiagnoosi, riskiarvio	SAM	Diagnoosi ja erotusdiagnoosi (aneurysmat ja liikehäiriöt, arvet)	Diagnoosi ja etiologia	Etiologia, perikardium
Perfuusio-kuvantaminen	Iskemian arviointi			Iskemian poissulku			
Muu isotooppi	FDG-PET: Tulehduksellinen etiologia Luuston gk: ATTR amyloidoosi	aktiivinen tulehdus (sarkoidoosi, jättisoluu)	Luuston gk: ATTR amyloidoosi		aktiivinen tulehdus (sarkoidoosi, jättisoluu)	aktiivinen tulehdus (sarkoidoosi, jättisoluu)	aktiivinen tulehdus (sarkoidoosi) luuskon gk: ATTR amyloidoosi
TT	Sepelvaltimoiden anatomia ja sepelvaltimotauti			Iskemian poissulku			Perikardium (kalkki, paksuuntuma)
Angio	Iskemian poissulku, sepelvaltimoanatomia			Iskemian poissulku			

LV = vasen kammio, RV = oikea kammio, EF = ejektiofraktio, gk = gammakuvaus.



KUVA 1. Esimerkkejä erilaisista taustatekijöistä, jotka aiheuttavat kardiomyopatian fenotyypin mutta eivät ole sydänlihassairauksia. Iskemian aiheuttaa laajentumaa tai liikehäiriön, hypertensio sydänlihaksen paksuuntumisen, ja urheilijan sydän voi olla suurentunut, paksuuntunut tai hypokineettinen. Läppäviat aiheuttavat laajenemista, paksuuntumista tai molempia läppäviasta riippuen. Takykardia ja runsas kammioisälyöntisyys aiheuttavat vasemman kammion laajenemista. TTE = sydämen UÄ.

Sydämen vajaatoiminta

Diagnoosi

Sydämen vajaatoiminta on määritelmän mukaan tila, jossa sydämen pumppaama verimäärä on kehon tarpeisiin nähden riittämätön (1, 2). Valtaosa sydämen vajaatoiminnasta selittyy sepelvaltimotaudilla, hypertensiolla ja läppävioilla, mutta vajaatoimintadiagnoosin yhteydessä tulisi pyrkiä tunnistamaan myös mahdolliset kardiomyopatiat. Tämä on tärkeää, koska näiden seuranta ja hoito sekä etenkin sukulaisten seulonta voivat poiketa yleisistä vajaatoiminnan hoitolinjoista (kuvat 1 ja 2). Vajaatoiminnan syy olisi aina pyrittävä selvittämään, mikäli se vaikuttaa hoitoon (1, 2).

Kuvantamalla saadun ejektiofraktion (EF) perusteella sydämen vajaatoimintapotilaat jaetaan eri päätyyppeihin. Sydämen systolisen vajaatoiminnan (HF_rEF, *heart failure with reduced ejection fraction*) diagnoosiin vaaditaan sopivat oireet ja alentunut ejektiofraktio, $\leq 40\%$ (taulukko 2). Sydämen diastolisen vajaatoiminnan (HF_pEF, *heart failure with preserved ejection fraction*) diagnoosiin puolestaan vaaditaan oireiden ja sydämen rakennepoikkeaman lisäksi myös joko koholla oleva proBNP tai objektiivinen näyttö sydänperäisestä kongestios- ta (esim. kongestio keuhkokuvas- sa, korkea täyttöpaine katetri- toimenpiteessä tai UÄ:ssä, kohonnut laskimopaine). Käypä hoito -suositus ei erittele ESC:n hoitosuosituksissa erikseen määritettyä lievästi alentuneen EF:n alatyyp- piä (HF_mrEF, *heart failure with moderately reduced ejection fraction*) vaan liittyy HF_pEF-ryhmään kaikki potilaat, joilla EF on yli 40% (1, 2). Vaikka sydämen vajaatoiminnan diagnoosiin tarvitaan yleisesti myös kliinisiä löydöksiä, voivat löydökset puuttua alkuvaiheessa tai hyvin kompensoidussa tilanteessa. On hyvä muistaa, että keuhkokuva kuuluu vajaatoimintaepäilyn alkututkimuksiin.

EF mitataan yleensä UÄ:llä, mutta MK on toistettavin ja lähes aina arvioitavissa, ja siksi sitä pidetään kuvantamistutkimusten kulmakivenä (3). Ajan saatossa EF-mittaus on tarkentunut ja menetelmät ovat muuttuneet. Nykyään parhaana UÄ-menetelmänä pidetään 3D-mittausta, eikä EF-arviota pelkäs- tä M-moodikuvasta pidetä nykypäiväisenä (3). Yleensä ainakin silmämääräinen EF-arvio onnistuu lähes jokaisessa UÄ-tutkimuksessa, mutta joskus tarvitaan MK-kuvasta näkyvyyden, dyssynkronian tai laajojen arpien vuoksi. Myös lisälyöntisyys ja nopeat rytmihäiriöt voivat estää luotettavan ja toistettavan EF-arvion.

Diastologian ja täyttöpaineiden arviointiin UÄ:llä on kehitetty ainakin kolme erilaista algoritmia, joiden keskinäiset erot ovat kohtalaisen pieniä (4–7). Eurooppalainen algoritmi on kaksivaiheinen: jos EF on normaali, arvioidaan aluksi relaksaatio

Valtaosa sydämen vajaatoiminnasta selittyy sepelvaltimotaudilla, hypertensiolla ja läppävioilla, mutta vajaatoimintadiagnoosin yhteydessä tulisi pyrkiä tunnistamaan myös mahdolliset kardiomyopatiat.

Taulukko 2. Sydämen vajaatoiminnan päämuotojen diagnostiset kriteerit

Sydämen vajaatoiminnalle tyypilliset oireet ja/tai kliiniset löydökset + suurentunut natriureettisten peptidien (NP) pitoisuus tai objektiivinen näyttö sydänperäisestä keuhko- tai systeemisestä kongestiosta:

Systolinen sydämen vajaatoiminta (HF_{rEF})

Heikentynyt vasemman kammion supistusvireys (LVEF ≤ 40 %)

Diastolinen sydämen vajaatoiminta (HF_{pEF})

1. Normaali (LVEF ≥ 50 %) tai vain lievästi heikentynyt (LVEF 41–49 %) vasemman kammion supistusvireys

2. Kohonneeseen sydämen vasemman puolen täyttöpaineeseen viittaava löydös

Rakenteellinen ja toiminnallinen muutos kuvantamistutkimuksessa:

- suurentunut vasen eteinen
- vasemman kammion hypertrofia tai vasemman kammion poikkeavaan diastoliseen täyttymiseen viittaava muutos
- vasemman kammion diastolisen sisäänvirtausnopeuden ja hiippaläppäannuluksen diastolisen liikenopeuden suhde suurentunut (keskimäärin $E/e' \geq 13$)
- lateraalisen ja septaalisen hiippaläppäannuluksen liike kudoskuvantamisessa pienentynyt (keskimäärin < 9 cm/s)

ja sen jälkeen täyttöpaineet. Jos EF on alentunut, arvioidaan vain täyttöpaineet (kuva 3). Diastologiaa ei juuri voi mitata muilla kuvantamismenetelmillä kuin UÄ:llä. On hyvä muistaa, että useissa sydänsairauksissa ja tiloissa (esim. tahdistinpotilas, merkittävä mitraalivuoto, vasen haarakatkos) diastologian arvio tulisi tehdä spesifein mittauksin, joita emme käsittele tämän artikkelin puitteissa (5, 6). Nämä algoritmit eivät kuitenkaan ole osana kansainvälisiä tai suomalaisia HF_{pEF}-määrittelyjä (1, 8).

Sydämen vajaatoimintapotilaan seurannassa EF:n pienet muutokset eivät ole oleellisia. Mittaustarkkuuden puitteissa pienimmät havaittavat erot lienevät 10–15 relatiivisen prosentin luokkaa (9). Sen sijaan tulisi keskittyä potilaan tilaan ja suorituskykyyn sekä etenkin mahdollisiin syihin niiden huonontuessa. Lisäksi tulee kiinnittää huomiota merkkeihin perustaudin etenemisestä. Vajaatoiminnan edetessä on tärkeää etsiä etenemisen syitä ja tarvittaessa harkittava kuvantamistutkimuksia.

Vaikea sydämen vajaatoiminta

Vaikean sydämen vajaatoiminnan hoitomuotoja ovat vajaatoimintatahdistin, sydämen vasemman kammion apupumppu (LVAD, *left ventricular assist device*) ja sydämensiirto (1, 8). Näitä hoitoja harkittaessa potilaille tehdään laajat kuvantamistutkimukset, jotta ollaan varmoja diagnoosista, tunnetaan rintaontelon anatomia sekä mahdolliset poikkeavuudet ja varmistetaan, ettei potilaalla ole infektiofokuksia tai maligniteetteja. Lisäksi varmistetaan, ettei potilas sovellu muihin sydämen vajaatoiminnan hoitoihin (mm. vajaatoimintahdistin, sydänkirurgia, Mitra- ja trclip). Lähtökohtaisesti potilaille tehdään keuhkovaltimoiden TT-angiografia keuhkovaltimoiden tromboottisten muutosten pois sulkemiseksi, ja lisäksi harkitaan rintaontelon kuvaamista arteriavaiheessa (sepelvaltimot ja aortta) ja venavaiheessa. Synnynnäisissä sydänvioissa saatetaan tarvita erityiskuvauksia (esim. varjoaineruiskutus v. femoraliksesta) anatomian selvittämiseksi (8).

Sydämen oikean puolen funktion ja trikuspidaalivuodon asteen arvioiminen on oleellista ennen LVAD-asennusta. Lähtökohtaisesti arvio tehdään vajaatoiminnan optimoinnin jälkeen sydämen ultraäänitutkimuksella, mutta tarvittaessa arviota täydennetään MK:lla. Ennen asennusta tulee selvittää, ettei potilaalla ole avointa soikeaa aukkoa (foramen ovale), joka saattaa aiheuttaa desaturaatiota leikkauksen jälkeen (ruokatorvi-UÄ tai TT). Sydämen vasemmasta kammioista tulee arvioida riittävä koko (UÄ), mahdollinen runsas trabekulaatio (UÄ, TT tai MK) ja iskeemisessä kardiomyopatiassa arpien sijainti ja paksuus (UÄ, MK tai TT) (10).

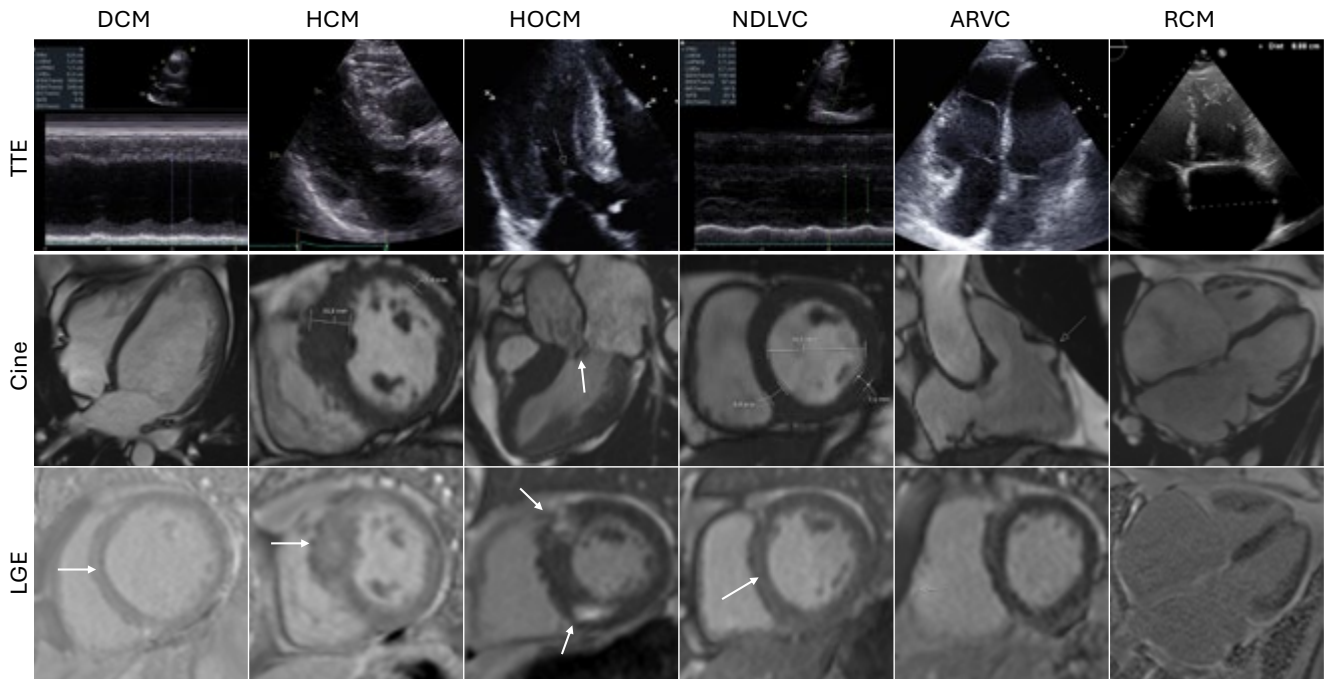
Rintaontelon anatomian selvittäminen on oleellista ennen sydämensiirtoa. Kuvantamisella selvitetään rintaontelon koko ja muoto, aortan ja keuhkovaltimoiden koko, ylä- ja alaonttolaskimoiden sekä keuhkolaskimoiden anatomia, mahdolliset oikovirtaukset/suntit ja kollateraalit.

Rintaontelon anatomian selvittäminen on oleellista ennen sydämensiirtoa. Kuvantamisella selvitetään rintaontelon koko ja muoto, aortan ja keuhkovaltimoiden koko, ylä- ja alaonttolaskimoiden sekä keuhkolaskimoiden anatomia, mahdolliset oikovirtaukset/suntit ja kollateraalit.

Kardiomyopatiat

Kardiomyopatioilla tarkoitetaan itsenäisiä, sydänlihaksesta lähtöisin olevia sairauksia, jotka eivät selity muilla tekijöillä, kuten läppävioilla, verenpainetaudilla, toksineilla tai iskemialla (2). Sydänäänessä kirjoitettiin kardiomyopatioista viimeksi kattavammin teemanumerossa vuonna 2019 ja uuden ESC:n hoito-ohjeen tiivistelmästä vuonna 2023 (11, 12). Kliinisen kokemuksen mukaan kardiomyopatiaa sairastavat potilaat päätyvät useimmiten tutkimuksiin vajaatoiminnan, rytmihäiriöiden, poikkeavan EKG:n tai sukuselvitysten kautta. Natriureettisten peptidien tai troponiinin pitoisuudet saattavat olla heilä usein hieman koholla. Joskus potilailla on kuitenkin saman-

Kliinisen kokemuksen mukaan kardiomyopatiaa sairastavat potilaat päätyvät useimmiten tutkimuksiin vajaatoiminnan, rytmihäiriöiden, poikkeavan EKG:n tai sukuselvitysten kautta.



KUVA 2. Eri kardiomyopatiatyypit. DCM = dilatoiva kardiomyopatia. Vasen kammio on laajentunut > 70 mm, EF alentunut < 20 % ja septumissa nähdään poikkeava jälkitechostuma (valkoinen nuoli). HCM = hypertrofinen kardiomyopatia. Septum on paksuuntunut ad 19 mm sekä UÄ:ssä että MK:ssa. Jälkitechostumakuvassa vastaavalla alueella on arpea (nuoli). HOCM = hypertrofinen obstruktiivinen kardiomyopatia (nuoli osoittaa SAM-liikkeen UÄ:ssä ja MK:ssa. Jälkitechostumakuvassa nuoli osoittaa poikkeavan jälkitechostuman). NDLVC = ei-dilatoiva vasemman kammion kardiomyopatia (nuolen osoittama jälkitechostuma, muuten normaalit löydökset). ARCV = arytmogeeninen oikean kammion kardiomyopatia. UÄ-kuvassa RV-kärki hieman pyörästynyt. MK:ssa nähdään aneurysma ja jälkitechostumakuvassa arpi. RCM = restriktiivinen kardiomyopatia. UÄ:ssä ja MK:ssa nähdään huomattava eteisdilataatio, jälkitechostumakuvassa myös eteisten arpeutumista.

aikaisesti useampia tautitiloja tai altisteita, jolloin yksittäisten tekijöiden, kuten alkoholin, sepelvaltimotaudin tai verenpaine-taudin, roolia potilaan sydänsairaudessa voi olla hyvinkin hankala hahmottaa.

Perustutkimukset epäiltäessä kardiomyopatiaa

Kardiomyopatiat luokitellaan sydämen rakenteen ja hemodynaamiikan mukaan vasemman kammion laajentumiseen (DCM, dilatoiva kardiomyopatia) vasemman kammion paksuuntumiseen (HCM, hypertrofinen kardiomyopatia), oikean kammion laajentumiseen ja arpeutumiseen (ARVC, arytmogeeninen oikean kammion kardiomyopatia), eteisten dilataatioon ja restriktiiviseen hemodynaamiikkaan (RCM, restriktiivinen kardiomyopatia) sekä uuteen, vasemman kammion rakenne-/toimintahäiriöön ilman laajenemista (LVNDCMP, *left ventricular non-dilated cardiomyopathy*) (kuva 2). Tämä luokittelu toimii työdiagnosina, ja tutkimusten tavoitteena on varmistaa kardiomyopatian diagnoosi ja samalla sulkea pois mahdollinen etiologinen syy tai sydänsairaus, joka aiheuttaa samannäköisiä muutoksia kuin kardiomyopatiat (ns. fenokopiot) (kuva 1) (2).

Tutkimusten perustana on kliininen arvio, sairauden suvuittaisen ilmenemisen selvittäminen keräämällä sukutiedot sukupuuhun, laboratoriotutkimukset (tarvittaessa käsittäen kliiniset geenitutkimukset), EKG ja rytmihäiriöarvio. Sydämen UÄ on tutkimusten kulmakivi. Sillä saadaan käsitys sydämen rakenteesta ja toiminnasta. Sydämen MK antaa paljon lisää informaatiota fibroosista, sydänlihaksen koostumuksesta, solu-

välitilan määrästä ja ennusteesta. Sillä saadaan myös hyvä käsitys oikean kammion funktiosta ja koosta sekä mahdollisista synnynnäisistä rakennepoikkeavuuksista (2).

Yleisesti ottaen kansainväliset suositukset ohjaavat ottamaan sydämen MK:n aina kardiomyopatiaa epäiltäessä. Kuitenkin resurssit ovat paikoittain rajalliset, ja tutkimukset tulisi kohdentaa niihin potilaisiin, joilla ne vaikuttavat potilaan/sukulaisten hoitoon tai seurantaan. Geenitutkimukset ovat indisoituja HCM:ssä sekä DCM:ssä, kun fenotyypitys on tehty perusteellisesti ja ulkoiset syyt suljettu pois (2).

Joskus potilailla on kuitenkin samanaikaisesti useampia tautitiloja tai altisteita, jolloin yksittäisten tekijöiden, kuten alkoholin, sepelvaltimotaudin tai verenpainetaudin, roolia potilaan sydänsairaudessa voi olla hyvinkin hankala hahmottaa.

Taulukko 3. Hankinnaiset DMC syyt, muokattu ESC 2023 taulukosta (2).

INFEKTIO (myokardiitin jälkitila)

Virus (entero, adeno, echo, herpes, parvo, HIV, SARS-CoV)

Bakteeri (lymen tauti)

Mykobakteeri

Sienet

Parasiitit (Chagas)

Toksiinit ja kertymäsairaudet

Alkoholi

Huumeet (kokaiini, amfetamiini, ekstaasi)

Koboltti

Anabolisetsteroidit

Hemokromatoosi

Endokriiniset syyt

Hypo- ja hypertyreoosi

Cushing/Addison

Akromegalia

Diabetes

Puutteellinen ravitsemus

Seleenin puutos

Tiamiinin puutos

Sinkin ja kuparin puutos

Karnitiinin puutos

Elektrolyyttihäiriöt

Hypokalemia

Hypofosfatemia

Autoimmuunitaudit

Jättisolomyokardiitti

Inflammatoriset taudit (ei infektiosit ja biopsia varmennetut)

Eosinofiilinen granulomatoosi

SLE (systeeminen lupus erytematosus)

Sarkoidoosi

Reuma

Primaari biliari kirroosi

Myastenia gravis

Pemfigus/pemfigoidi

Crohnin tauti

Colitis ulcerosa

Polymyosiitti/dermatomyosiitti

reaktiivinen arteriitti

Lääkkeet

Syöpälääkkeet (antrasykliinit jne.)

Psykiatriset lääkkeet (klotsapiini jne)

Muut lääkkeet (antiretroviraaliset lääkkeet jne.)

DCM ja NDLVC

DCM määritellään vasemman kammion dilataationa ja systolisen toiminnan häiriönä. DCM:lle on tyypillistä hitaasti, usein vuosien kuluessa kehittyvä vasemman kammion laajeneminen ja supistumisvoiman heikkeneminen. Osassa tapauksista myös oikea kammio voi alkaa laajentua ja menettää supistuvuuttaan. Vasemman kammion seinämät tavallisimmin ohentuvat (2, 13).

DCM:n esiintyvyyden on ajateltu olevan aikuisilla 0,036–0,4 % ja ilmaantuvuuden 5–7/100 000 henkilöä/vuosi. Koska kuitenkin on olemassa välimuotoisia taudinkuvia, jotka eivät täytä DCM-kriteeristöä, ESC:n vuonna 2023 julkaistuissa kardiomyopatian hoitosuosituksissa suositeltiin ottamaan käyttöön NDLVC-termi, joka pitää sisällään sekä isoloidun ei-iskeemisen vasemman kammion arpeutumisen että isoloidun systolisen toiminnan häiriön ilman arpeutumista. Systolinen toimintahäiriö voi olla paikallinen tai globaali. NDLVC:n vallitsevuudesta ei ole tarkkaa tietoa, sillä ryhmä on aikaisemmin kuulunut DCM- ja ARVC-populaatioihin (2). Suomessa NDLVC:n taustalla voi olla usein jokin DSP-geenivariantti (14).

DCM:n etiologia on hyvin moninainen, ja se jaetaan pääsääntöisesti perinnölliseen ja hankinnaiseen muotoon (taulukko 3). Geneettinen muoto kattaa 30–50 % tapauksista, ja tautiin yhdistettyjä variantteja on löydetty yli 50:stä eri tautigeenistä. Potilaita, joilla epäillään DCM:ää tai NDLVC:tä, tulee nykyisten suositusten mukaan tutkia multimodaalisesti (taulukko 1). Gadoliniumin myöhäistehostumien (LGE) määrä ja sijainti ovat merkittäviä havaintoja ja voivat kertoa DCM:n geneettisestä etiologiasta. Rengasmaiset subepikardiaaliset jälkitechostumat ovat merkki kammioperäisten rytmihäiriöiden riskistä. Epäiltäessä tulehduksellista etiologiaa tutkitaan MK:n lisäksi myös PET ja/tai sydänlihaskiopsia. Iskeemisen etiologian pois sulkemiseen suositellaan tarvittaessa sepelvaltimoiden TT-tutkimusta, sydänlihaksen perfuusiokuvantamista tai koronaariangiografiaa (2).

Kun vasemman kammion laajenemisen taustalta on suljettu pois ulkoiset syyt ja muut laajenemista aiheuttavat sydänsairaudet, indeksipotilaille suositellaan geenipaneelitutkimusta, etenkin jos potilaalla on elossa olevia sukulaisia, joiden hoitoon geenitulos voisi vaikuttaa, tai jos tulos vaikuttaisi indeksipotilaan omaan hoitoon (esim. Fabryn taudin diagnoosi). Suomalaisilla DCM-potilailla tavallisimpia tautigeenejä ovat TTN, LMNA ja DSP (15). Jos indeksipotilaalta on löytenyt haitallinen tai todennäköisesti haitallinen geenivariantti, sukulaiset voidaan ensin seuloa geenivariantin suhteen ja ohjata ainoastaan variantin kantajat kliiniseen seurantaan, joka käsittää sydämen ultraäänitutkimuksen. Jos geenivarianttia ei voida osoittaa, sairaus voi silti olla suvuittainen, ja ensimmäisen asteen sukulaisia seurataan harvakseltaan kliinisesti, lähinnä sydämen ultraäänitutkimuksella, EKG:llä ja laboratoriotutkimuksella (2).

HCM

HCM:n esiintyvyydeksi aikuisilla on arvioitu 1:500 (2). Klassinen HCM liittyy sarkomeeristen geenien haitallisiin variantteihin. Suomessa geenitaustaa on tutkittu FinHCM-tutkimuksessa (16). Aorttaläppäahtauman, verenpainetaudin ja testosteronin/kasvuhormonien käytön lisäksi HCM:n kaltaista seinämäpaksuuntumaa (fenokopioita) voidaan nähdä kertymäsairauksissa (amyloidoosi, Fabryn tauti, PRKAG2-geeniin liittyvä

Taulukko 4. Hypertrofisen sydämen erotusdiagnostisia vaihtoehtoja. Muokattu lähteestä ASE GL 2022)

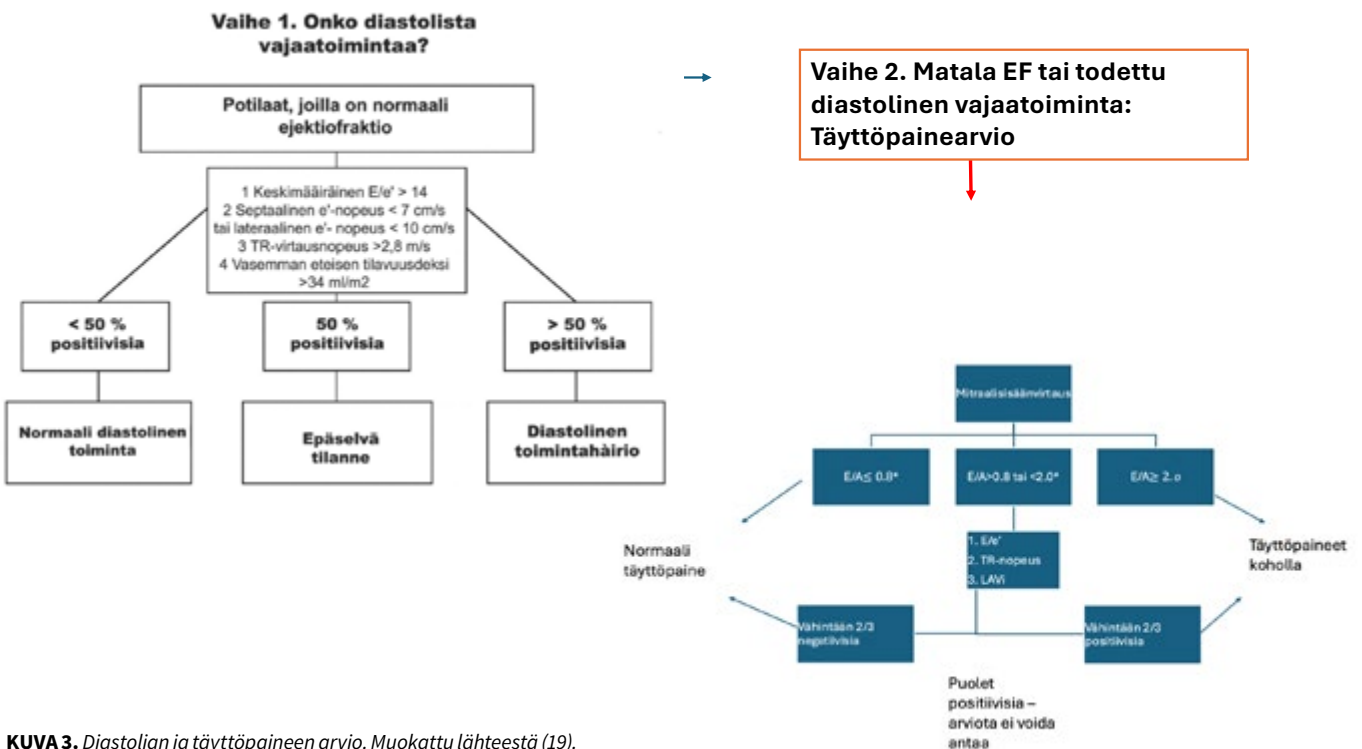
Fenokopio	Kliiniset piirteet	Tyypilliset EKG-löydökset	Tyypilliset echo-löydökset	Tyypilliset CMR-löydökset
Fabryn tauti	Multisysteemisairaus, neuropatia, munuais-häiriö, ihomuutokset	LVH, johtumishäiriöt, rytmihäiriöt	Konsentrisen/epäsymmetrisen hypertrofia, relaksaation häiriö	LGE lateraaliseinässä subendokardiaalinen säästyminen
Urheilijan sydän	Oireeton	Sinusbradykardia, LVH, varhainen repolarisaatio	Normaali tai lievästi suurentunut seinämä, tasa-painoinen dilataatio	LGE puuttuu (joskus RV insertin kohdissa)
Hypertensiivinen sydän	Saattaa olla oireeton, HF-oireet	LVH, repolarisaatiohäiriöt	Konsentrisen hypertrofia, diastolinen häiriö vaihtelee	Paikallinen LGE, ECV ↑
Amyloidoosi	HF, neuropatia, eteis-arytmiat, karpaalitunneli	Matala QRS suhteessa LVH:hon	Konsentrisen paksuuntuminen, restriktiivinen täyttö	Subendo- tai transmuraalinen LGE

HF = sydämen vajaatoiminta, LGE = jälkitechostuma, LVH = vasemman kammion hypertrofia, ECV = solunvälitila.

kardiomyopatia) tai mitokondriosairauksissa, joista yleisin on MELAS (*mitochondrial myopathy, encephalopathy, lactic acidosis and stroke*). Myös rasopatioihin, esim. Noonanin syndroomaan, voi liittyä HCM-tyyppinen vasemman kammion seinämäpaksuuntuma (17). Myös urheilijan sydän voi aiheuttaa erotusdiagnostisia ongelmia. Etiologian selvittäminen on tärkeää, koska se vaikuttaa esimerkiksi rytmihäiriöriskin arviointiin tai esimerkiksi Fabryn taudissa tai ATTR:ssä (transtyretiiniamyloidoosi) ja AL:ssä (kevytketjuamyloidoosi) tautikohtaisen hoidon harkintaan (taulukko 4) (2).

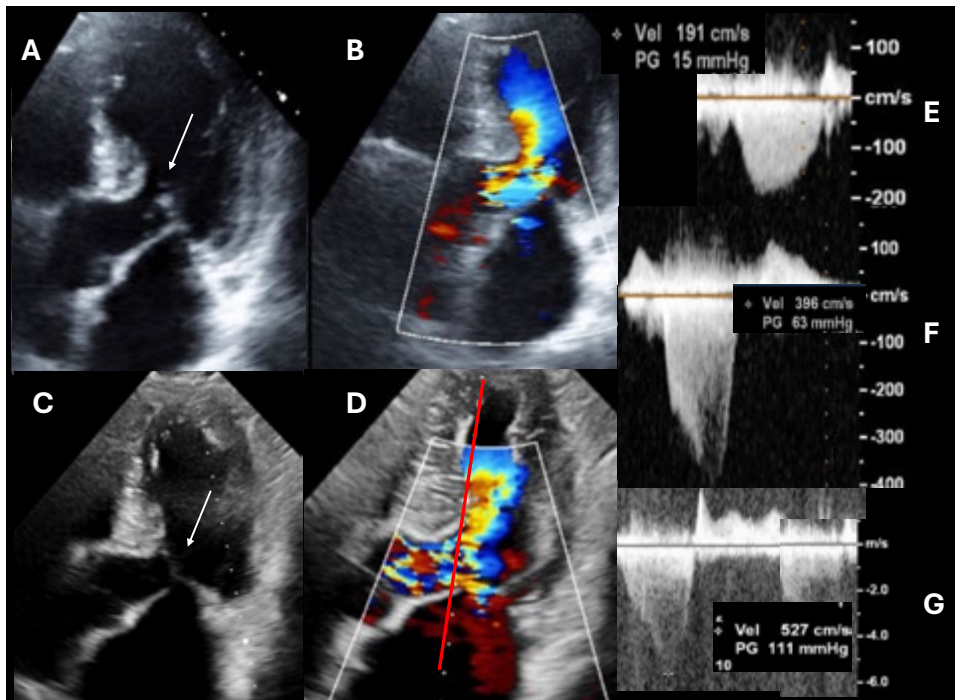
HCM-potilailtakin ensisijainen kuvantaminen on sydämen UÄ. Tyypillilöydös on epäsymmetrisen septaalinen hypertrofia, jossa septumin paksuuntuma sijaitsee basaalisesti lähellä aorttaläppää ja takaseinä on normaali tai lievemmin paksuun-

tunut. HCM:ään liittyvä paksuuntuminen voi kuitenkin sijaita myös muissa kohdissa, joista tyypillisimpiä ovat septum, sydämen kärjen alue ja muut alueet. Mitraaliläppärakenteissa voi olla erityyppisiä poikkeavuuksia, pidentyneet läppäjänteet tai papillaarilihasten paksuuntumista tai poikkeava sijainti (18, 19). Aikuisilla HCM:n kuvantamiskriteeri on vasemman kammion seinämän paksuus ≥ 15 mm. Jos lähisukulaisella on todettu HCM, sukulaisten kuvantamiskriteerinä on seinämäpaksuus ≥ 13 mm. Lapsilla diagnoosiin sovelletaan ikä- ja sukupuolikoh-taisia viitearvoja (2). Näitä hyvin yksinkertaisia seinämäkriteereitä on kritisoitu esimerkiksi apikaalisen muodon diagnoosissa, sillä normaalikin seinämäpaksuus on apikaalisesti paljon basaalisiosia ohuempi. Tähän on ehdotettu uusia kriteerejä, mutta ne eivät ole vielä vakiintuneet käyttöön (20). Samoista



KUVA 3. Diastolian ja täyttöpaineen arvio. Muokattu lähteestä (19).





KUVA 4. HOCM-potilaan UÄ-diagnostiikka. Rasisuksessa oireileva potilas. Lepotilassa nähdään poikkeava SAM-liike (A) ja siihen liittyvä virtauskiihtymä (B). Huippugradientti oli levossa <10, valsalvauksen aikana 15 mmHg (E). Kammolisäilyönnin jälkeen huippugradientti nousi korkeimmillaan lukemaan 63 mmHg (F). Rasisuskokeen aikana SAM-liike vaikeutuu (C, D, valkoinen nuoli). Punainen viiva korostaa dopplermittauksen käytetyn suunnan. Rasisuskokeen jälkeen huippugradientti on selvästi korkeampi, ad 111 mmHg (G).

syistä on ehdotettu ikä- ja sukupuolivakioituja seinämäpaksuuskriteerejä etenkin nuorille potilaille sekä naisille – näissä ryhmissä seinämäpaksuudet ovat pienemmät kuin vanhemmilla miehillä, ja siten diagnoosi voi viivästyä (18, 19).

Sydämen UÄ:llä voi olla vaikea saada hyvää näkyvyyttä ja tarkkoja, toistettavia mittoja. Epäselvissä tapauksissa MK:lla voidaan saada tarkat ja toistettavat mitat. MK:lla voidaan saada myös näkyviin viitteitä kertymäsairauksista, kuten amyloidooseista tai Fabryn taudista, ja HCM-diagnoosiepäilyn syntyessä olisi tärkeää sulkea pois kertymäsairaudet joko MK:lla tai SPECT-kuvauksella (taulukko 1). MK:lla voidaan myös määrittää vasemman kammion myöhäistehostumien määrää: LGE yli 15 % vasemman kammion massasta on merkki kohonneesta vakavien rytmihäiriöiden riskistä (2).

HOCM

Hypertrofinen obstruktiivinen kardiomyopatia (HOCM) on tautimuoto, jossa veren kulku vasemmasta kammioista aorttaan estyy (LVOTO, *left ventricular outflow tract obstruction*) etumaisen mitraalipurjeen poikkeavan liikkeen vuoksi (SAM, *systolic anterior motion*). SAM-liikkeessä mitraaliläppä ”imeytyy” systolessa lähelle paksua septumia (kuvat 2 ja 5 A–D). Oirekuva ja hemodynamiikka ovat sinänsä samankaltaiset kuin aorttaläppäahtaumapotilailla, mutta suurin ero on siinä, että HOCM:ssä ulosvirtauskanavan ahtauma on dynaaminen – sitä ei välttämättä havaita levossa, vaan sen diagnosoimiseen tarvitaan usein provokaatiotestejä, kuten valsalvausta, asennon muutoksia tai polkupyöräkoetta (kuva 5 E–G). Potilaat voivat myös oireilla vain tietyissä tilanteissa, kuten ruokailun jälkeen, kuivuman yhteydessä tai valsalvauksen aikana. HOCM:ää voivat aiheuttaa samat geenit kuin non-obstruktiivista muotoakin, ja usein tämä liittyy basaaliseseen hypertrofiaan, ei niinkään keskikammion hypertrofiaan tai apikaalisiin muotoihin (18, 19).

HOCM:ssä ensisijainen kuvantamistapa on UÄ. Lievä SAM voidaan nähdä myös ilman havaittavaa LVOTO:ta. LVOTO on määritelmän mukaan havaittu huippugradientti, joka on vähintään 30 mmHg. Merkittävä LVOTO on silloin, kun huippugradientti on ≥ 50 mmHg (2). Toisin kuin aorttaläppäahtaumassa, ahtain virtauskohta muodostuu septumin viereen vasemman kammion tyviosiin (kuva 5D). Huippugradientin mittaus jatkuvalla dopplerilla tulisi siis tehdä eri anatomisesta kohdasta kuin aorttaläppäarviossa. Keskigradienilla ei ole roolia HOCM-potilaan arviossa. On hyvä muistaa, että SAM ja LVOTO voidaan nähdä myös muissa tiloissa, kuten takotsubo-kardiomyopatiassa, nestehukassa, aorttaläppäahtauman toimenpitehoidon jälkeen ja dobutamiini-infuusion aikana (19). MK:lla voidaan havaita SAM ja LVOTO ja hahmottaa kiihtymän suuruutta, mutta hoitopäätökset ja seuranta tulee tehdä UÄ:llä. Yleensä SAM-liikkeeseen liittyy posteriorinen mitraalivuoto.

HOCM:n oireenmukaiseen hoitoon on nykyään saatavilla uusi lääkeaineryhmä, myosiiniestäjät (mava- ja afikamteemi). Hoidon aloitus ja seuranta vaativat sekä tarkkaa ja toistettavaa kuvantamista että tiukkaa kuvantamisseurantaa EF:n mahdollisen alenemisen vuoksi sekä hoidon tehon arvioimiseksi (2). Mikäli potilaalla on rasisuoroisto, joka ei selity muilla tekijöillä, kuten rytmihäiriöillä tai sepelvaltimotaudilla, LVOTO:ta tulisi hakea oireen takaa levossa, valsalvaten, seisten sekä tarvittaessa polkupyörärasituksella (2). Tutkimusta edeltävä ruokailu voi tuoda LVOTO:n helpommin esille (14).

Muut kardiomyopatit

ARVC

ARVC on harvinainen sydänlihassairaus, jossa osalla potilaista taudilla on geneettinen tausta. Tyyppipiirteinä ovat nuorilla potilailla rasisuksessa ilmenevät kammiotakykardiat, jotka ovat lähtöisin oikean kammion alueelta. Diagnoosi perustuu mutkikkaisiin kriteereihin, joissa huomioidaan sukuanamnee-

si sekä EKG-, kuvantamis-, biopsia- ja geneettisten tutkimusten löydökset. Vaikka sydämen UÄ on ensisijainen, tarvitaan usein magneettikuvantamista oikean kammion koon, supistuvuuden ja seinämien liikehäiriöiden tai aneurysmien havaitsemiseksi (21). Usein myös vasen kammio on affisioitunut. Hiljattain on ehdotettu myös uudenlaista käsitettä, arytmogeenistä kardiomyopatiaa, mutta uusimmissa ESC:n hoito-ohjeissa päädyttiin pitäytymään ARVC-nimityksessä (2).

RCM

RCM käsittää heterogeenisen joukon harvinaisia sydänlihassairauksia, joille on yhteistä restriktiivinen hemodynamiikka kammioiden ollessa normaalikokoiset ja seinämäpaksuuksien korkeintaan lievästi suurentuneet (kuva 2). Tästä seuraa sydämen kyvyttömyys täytyä ja ylläpitää riittävää minuuttitilavuutta ilman poikkeuksellisen korkeita täyttöpaineita. Restriktiivisen kardiomyopatian syyryhmistä suurin on amyloidoosin. Muut syyt on lueteltu taulukossa 5. Osa etiologisista tekijöistä voi ilmetä myös HCM-fenotyyppinä, ja osin samat geenit liittyvät molempiin tautimuotoihin. Mikäli taustasyitä ei todeta, kyseessä on idiopaattinen RCM. RCM:n perustutkimuksiin kuuluvat UÄ ja MK (taulukko 1). Viimeksi mainitusta voidaan saada viitteitä etiologiasta, kuten amyloidoosista tai Fabryn taudista (2).

Hypertrabekulaatio

(aiemmin trabekuloiva kardiomyopatia)

ESC:n vuonna 2023 julkaistussa kardiomyopatioita koskevassa hoitosuosituksessa kumottiin aiempi trabekuloivan kardiomyopatian käsite itsenäisenä kardiomyopatiaryhmänä. Suositeltu termi on nyt hypertrabekulaatio, jota voidaan käyttää kuvaavana terminä (2). Poikkeava trabekulaatio voi liittyä lisäpiirteenä erityyppisiin kardiomyopatioihin, mutta sitä nähdään myös normaaleissa fysiologisissa tiloissa. Näin ollen esimerkiksi sattumalöydöksenä kuvantamisessa esille tullut korostunut vasemman kammion trabekulaatio ei enää automaattisesti merkitse geneettistä sydänlihassairaustaipumusta. Poikkeava trabekulaatio voi tulla esiin sydämen ultraäänitutkimuksessa, ja tarkemman käsityksen voi saada sydämen MK- tai TT-tutkimuksessa (kuva 5, taulukko 1). Ylidiagnostiikkaa on tärkeää välttää oireettomilla ja muuten sydämetään terveillä henkilöillä. Hypertrabekulaatio voi esiintyä suvuittaisena ominaisuutena ilman sydänsairautta (2), tai jos vasen kammio laajenee muusta syystä.

Amyloidoosi

Sydänamyloidoosi voi ilmetä joko hypertrofisena tai restriktiivisenä fenotyyppinä (kuva 6). Taudin patofysiologisena perustana on väärin laskostuneiden proteiinien kertyminen sydänlihaksen soluvälitilaan. Keskeiset muodot ovat monoklonaalinen kevytketjuamyloidoosi (AL) sekä transtyretiiniamyloidoosi (ATTR), joka jaetaan perinnölliseen muotoon (ATTRv) ja hankinnaiseen villityyppiin (ATTRwt).

Amyloidooseja on useita eri tyyppisiä, joista tavallisimmat ovat ei-geneettinen transtyretiiniamyloidoosi ja AL-amyloidoosi. Transtyretiiniamyloidoosin geneettinen muoto on Suomessa harvinainen. Suomalaisille tyypillinen harvinainen amyloidoosimuoto on gelsoliinigeeniin liittyvä Meretojan tauti. Amyloidoosiepäilyissä geneettinen tai ei-geneettinen TTR-proteiin-

Taulukko 5. Restriktiivisen kardiomyopatian taustatekijöitä

Restriktiivisen kardiomyopatian etiologinen luokittelu (2)

Infiltratiiviset ja kertymäsairaudet

Amyloidoosi (AL- ja ATTR-tyypit)

Hemokromatoosi (raudan kertyminen)

Eosinofiilinen sydänlihastulehdus (esim. hypereosinofiilinen oireyhtymä, yliherkkyyssyokardiitti)

Endomyokardiaalinen fibroosi

Metaboliset kertymäsairaudet (glykogenoosit, lysosomaaliset kertymäsairaudet)

Tulehdukselliset sairaudet

Sydänsarkoidoosi

Hoitoon liittyvät ja toksiset syyt

Mediastinumien sädehoito

Lääkeaineet (esim. hydroksiklorokiini, antrasykliinit, busulfaani, metysergidi, ergotamiini johdokset)

Perinnölliset ja geneettiset syyt

Sarkomeerigeenien variantit (esim. TNNI3, TNNT2, ACTC1, MYH7, MYBPC3)

Sytoskeletonin ja desmosomien proteiinien variantit (esim. DES, FLNC, BAG3, LMNA, DSP)

Anderson–Fabryn tauti

Pompen tauti

RASopatiat (esim. Noonanin oireyhtymä)

Muut sairaudet

Systeeminen skleroosi (skleroderma)

Wernerin oireyhtymä

Idiopaattinen

Ei tunnistettavaa etiologiaa kattavista tutkimuksista huolimatta

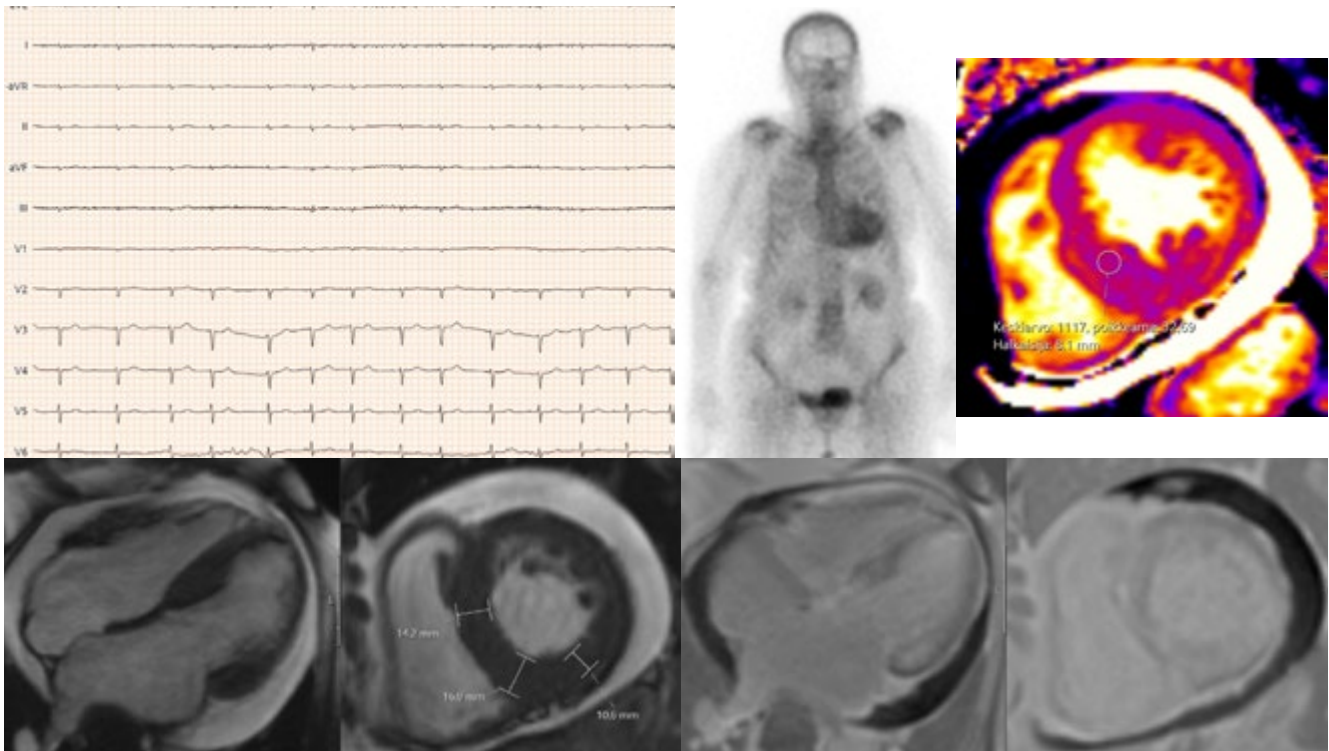
nin kertymä voidaan saada näkyviin gammakuvauksella käytämällä luuston kertymän merkkiainetta (kuva 5). Amyloidoosiepäilyissä pitää ensin sulkea pois nopeasti etenevä AL veri- ja virtsakokein. RCM tulee erottaa restriktiivisestä perikardiitista. Amyloidoosista on hyvää suomenkielistä kirjallisuutta kohdallisen laajasti (22–24).

Anderson–Fabryn tauti

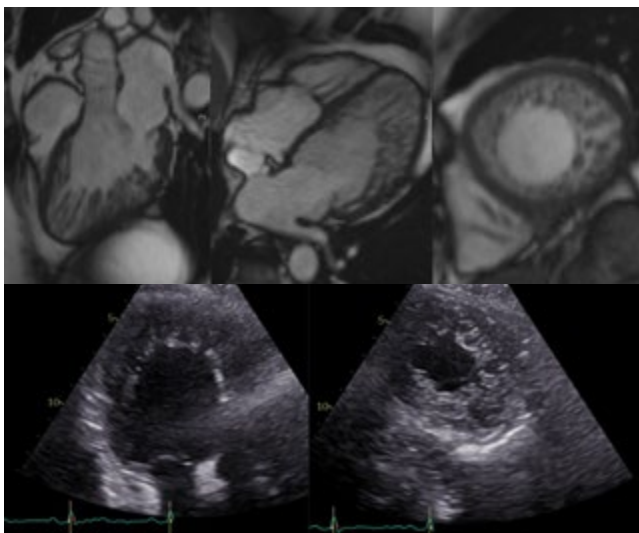
Anderson–Fabryn tauti on harvinainen, X-kromosomissa periytyvä lysosomaalinen kertymäsairaus. Seurauksena on progressiivinen elinvario, erityisesti sydämessä, munuaisissa ja keskushermostossa (25).

Taudista erotetaan kaksi päämuotoa. Klassinen muoto ilmenee tyypillisesti miehillä, joilla entsyymiaktiivisuus on erittäin matala (< 1 % normaalista). Oireet alkavat lapsuudessa tai nuoruudessa ja johtavat etenevään monielinvajaatoimintaan. Myöhemmin alkavaa muotoa esiintyy sekä miehillä että naisilla, joilla on residuaalista entsyymiaktiivisuutta. Tässä muodossa kliininen ilmentymä voi rajoittua sydämeen.





KUVA 5. Amyloidoosi. Sydänamyloidoosin (ATTR) tyypillinen EKG-löydös: matalavoltitiset kompleksit, R-progression puute rintakytkennoissä sekä eteisvärinä. Sydänkertymä luuston gammakuvauksessa. MK:ssa tasaisesti paksuuntuneet seinämät ja perikardiumnestettä, korkea T1-relaksaatioaika ja sirkulaarinen intramyokardiaalinen myöhäistehostuma.



KUVA 6. Vasen kammio suurentunut ja supistuminen alentunutta sekä hypertrabekulaatio. Ei hyytymiä eikä myöhäistehostumia. Potilaalla geenivirhe MYH7.

Sydänmanifestaatioihin kuuluvat vasemman kammion ja papillaarilihasten hypertrofia, läppärakenteiden paksuuntuminen, sydämen vajaatoiminta ja rytmihäiriöt. Kaikukardiografiassa globaalin pituussuuntaisen strainin heikkeneminen voi todeta jo ennen ejektiofraktion alenemista. Sydämen magneettikuvauksessa tyypillisiä löydöksiä ovat matalat natiivi-T1-arvot sekä basaalisien inferolateraaliseinämien myöhäistehostuma (21).

Lopuksi

Sydämen vajaatoiminta- ja kardiomyopatiadiagnosi vaatii usein kuvantamista eri modaaliteeteilla. Vaikka kuvantamisella voidaan saada seikkaperäistä tietoa sydämen rakenteesta, toiminnasta ja histologista muutoksista, kaikille potilaille ei voida aina tehdä kaikkia tutkimuksia, eikä kuvantamisella toisaalta voida välttämättä erottaa hankinnaisia syitä sydämen toiminnan häiriöille. Vaikka kuvantaminen on keskiössä, ovat hoitavan klinikon arvio ja anamneesi tärkeimpiä asioita näiden potilaiden arvioissa. Uudet HOCM:n hoitomuodot vaativat toistettavuutta ja erityistä kuvantamista, ja osaamista voi olla tarpeen päivittää. ■

Viitteet

- Käypä hoito-suositus. Sydämen vajaatoiminta. 2023. Accessed February 24, 2026. <https://www.kaypahoito.fi/hoi50113>
- Arbelo E, Protonotarios A, Gimeno JR, ym. 2023 ESC Guidelines for the management of cardiomyopathies: Developed by the task force on the management of cardiomyopathies of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2023;44(37):3503–3626.
- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, ym. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J – Cardiovasc Imaging*. 2015;16(3):233–271.
- Grapsa J, Argulian E, Smiseth OA. Diastolic dysfunction: a comparison of 2025 ASE, 2024 BSE and 2022 EACVI guidelines. *Eur Heart J - Cardiovasc Imaging*. 2025;26(11):1725–1727.
- Nagueh SF, Sanborn DY, Oh JK, ym. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography and for Heart Failure With Preserved Ejection Fraction Diagnosis: An Update From the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2025;38(7):537–569.
- Smiseth OA, Morris DA, Cardim N, ym. Multimodality imaging in patients with heart failure and preserved ejection fraction: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J - Cardiovasc Imaging*. 2022;23(2):e34–e61.
- Robinson S, Ring L, Oxborough D, ym. The assessment of left ventricular diastolic function: guidance and recommendations from the British Society of Echocardiography. *Echo Res Pract*. 2024;11(1):16.
- McDonagh TA, Metra M, Adamo M, ym. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*. 2021;42(36):3599–3726.
- Baron T, Berglund L, Hedin EM, Flachskampf FA. Test-retest reliability of new and conventional echocardiographic parameters of left ventricular systolic function. *Clin Res Cardiol*. 2019;108(4):355–365.
- Cameli M, Aboumarie HS, Pastore MC, ym. Multimodality imaging for the evaluation and management of patients with long-term (durable) left ventricular assist devices. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2024;25(10):e217–e240.
- Sydänääni 2019 30:1A Teemanumero. Suomen Kardiologinen Seura. Accessed February 24, 2026. <https://www.fincardio.fi/sydanaani-lehdet/teemanumerot/sydanaani-2019-n-30-1a-teemanumero/>
- Pitkänen K, Paakkanen R. ESC: n vajaatoimintapäivitys ja kardiomyopatioiden hoitosuositus 2023. *Sydänääni*. 2023;34(3):321–327.
- Reichart D, Magnussen C, Zeller T, Blankenberg S. Dilated cardiomyopathy: from epidemiologic to genetic phenotypes: A translational review of current literature. *J Intern Med*. 2019;286(4):362–372.
- Heliö K, Brandt E, Vaara S, ym. DSP c.6310delA p.(Thr2104Glnfs*12) associates with arrhythmogenic cardiomyopathy, increased trabeculation, curly hair, and palmoplantar keratoderma. *Front Cardiovasc Med*. 2023;10.
- Akinrinade O, Ollila L, Vattulainen S, ym. Genetics and genotype-phenotype correlations in Finnish patients with dilated cardiomyopathy. *Eur Heart J*. 2015;36(34):2327–2337.
- Jääskeläinen P, Vangipurapu J, Raivo J, ym. Genetic Basis and Outcome in a Nationwide Study of Finnish Patients with Hypertrophic Cardiomyopathy. *ESC Heart Fail*. 2019;6(2):436–445.
- Hathaway J, Heliö K, Saarinen I, ym. Diagnostic yield of genetic testing in a heterogeneous cohort of 1376 HCM patients. *BMC Cardiovasc Disord*. 2021;21(1):126.
- Cardim N, ym. Role of multi-modality cardiac imaging in the management of patients with hypertrophic cardiomyopathy in 2025. A Clinical Consensus Statement of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) of the ESC.
- Nagueh SF, Phelan D, Abraham T, ym. Recommendations for Multimodality Cardiovascular Imaging of Patients with Hypertrophic Cardiomyopathy: An Update from the American Society of Echocardiography, in Collaboration with the American Society of Nuclear Cardiology, the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2022;35(6):533–569.
- Hughes RK, Shiwani H, Rosmini S, ym. Improved Diagnostic Criteria for Apical Hypertrophic Cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2024;17(5):501–512.
- Heliö T, Parikka H. LUKU 1 Oikean kammion arytmoogeeninen kardiomyopia. *Sydänääni*. 2019;30(1A):147–155.
- Pettersson T, Lehtonen J. LUKU 2 Sydänamyloidoosi. *Sydänääni*. 2019;30(1A):155–161.
- Paakkanen R. Paksun pumpun pulma – sydänamyloidoosi. *Duodecim*. 2024;(8):697–701.
- Holkeri A, Pettersson T, Mustonen T. Sydänamyloidoosi. *Duodecim*. 2019;(135):2291–2299.
- Kantola I, Kuusisto J. LUKU 3 Fabry-kardiomyopia. *Sydänääni*. 2019;30(1A).

Sidonnaisuudet

- Riitta Paakkanen: luentopalkkio (AstraZeneca, Bristol-Myers Squibb, Novartis Oy, Suomen Kardiologinen Seura, Suomen Radiologiyhdistys, Pfizer Oy), korvaus koulutusaineiston tuottamisesta (Bristol-Myers Squibb), työsuhde/luottamustoimi (Lääkärikeskus Aavan kardiologian vastuulääkäri, Suomen Kardiologisen Seuran Kuvantamisjaoston puheenjohtaja, Sydänäänän miniteemanumeron toimittaja, Aurevia Oy:n klinisen säteilynkäytön auditoija), apuraha (Juhani Ahon säätiö, Suomen Kardiologinen Seura, AstraZeneca, Paavo Nurmen Säätiö).
- Elina Kariniemi: luentopalkkio (Suomen Kardiologinen Seura, Suomen klinisen fysiologian yhdistys, PohDe), osakkeet/optiot (Sataman Sydän Oy), tukea työnantajan määräämään koulutukseen (GE Healthcare), työsuhde/luottamustoimi (Kys Kuvantamiskeskus / toiminnantarkastaja, Suomen klinisen fysiologian yhdistys).
- Marjo Okkonen: luentopalkkio (Suomen Kardiologinen Seura, Suomen Radiologiyhdistys), matka-apuraha (Suomen Kardiologinen Seura, Pfizer Oy ja Bayer).
- Markku Pentikäinen: luentopalkkio (AstraZeneca, Bayer, Boehringer-Ingelheim, Janssen, MSD, Professio), osakkeet/optiot (Orion Oy), tukea työnantajan koulutukseen (Janssen, AOP), konsultointi (AstraZeneca, Bayer, Boehringer-Ingelheim, Janssen, MSD), luottamustoimi (Duodecim Käypä hoito -työryhmän jäsen: Kohonnut verenpaine ja Sydämen vajaatoiminta).
- Tiina Heliö: luentopalkkio (Bristol Myers Squibb, Sanofi), työsuhde/luottamustoimi (Potilasvakuutuskeskus, terveydenhuollon laadun ja potilasturvallisuuden erityispätevyys, yksityisvastaanotto/Terveystalo, hankejohtaja Perinnölliset kardiomyopatit -hankkeessa, ERN GUARD-Heart Husin edustaja, HAKE harvinaisten sydänsairauksien ohjelma-johtaja), tutkimusyhteistyö: Blueprint Genetics Quest.

Läppäsairauksien kuvantaminen kliinisessä työssä – multimodaalinen lähestymistapa

Olga Horosh, LL, kardiologian erikoislääkäri, kuvantamiskardiologian lisäpätevyys, ESC/EACVI TTE ja TEE akkreditoinnit, Tays Sydänsairaala.

Kadri Joosti, LL, kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus.

Jarkko Piuhola, dosentti, sisätautien ja kardiologian erikoislääkäri Oys Sydän.

Antti Saraste, professori, Turun yliopisto. Kardiologian erikoislääkäri, ylilääkäri, Tyks Sydänkeskus.

Tiivistelmä

Läppäsairaudet ovat merkittävä sydän- ja verisuonitauti-kuolleisuuden ja -sairastavuuden syy (1). Kuvantaminen on keskeinen osa paitsi läppävian diagnostiikkaa myös vaikeusasteen arviointia, ennusteen määrittelyä ja sekä hoidon valintaa että ajoitusta. Sydämen ultraäänitutkimus on ensisijainen menetelmä, mutta kliinisessä työssä tarvitaan yhä useammin multimodaalista lähestymistapaa. Silloin sydämen ultraäänitutkimusta täydennetään sydämen magneettikuvauksella ja tietokonetomografialla, sekä valikoiduissa tilanteissa invasiivisilla hemodynaamisilla tutkimuksilla.

Johdanto

Läppävian kuvantamisen tavoitteena ei ole ainoastaan luokitella ahtaumaa tai vuotoa, vaan kuvata koko tautiketju: 1) etiologia ja mekanismi, 2) vaikeusaste ja 3) ekstravalvulaariset seuraukset. Merkittävät läppäviat aiheuttavat paine- ja/tai tilavuuskuormitusta, joka johtaa mm. kammioiden ja eteisten rakenteellisiin muutoksiin, keuhkoverenpaineen nousuun, oireisiin ja ennusteen heikkenemiseen. Hoidon ajoitus perustuu siksi usein myös oireisiin ja kuormitusmuutoksiin eikä pelkästään itse läppälöydökseen.

Sydänäänen teemanumerossa 2023 on kuvattu kattavasti läppävian määrittelyt, ultraäänimittausten tekniset toteutuk-

set, virhelähteet ja tulkinnan periaatteet. Tässä katsauksessa painotetaan multimodaalisen kuvantamisen rooleja ja kliinisesti keskeisiä tulkintatilanteita.

Multimodaalisen kuvantamisen periaatteet

Kuvantaminen etenee vaiheittain. Transtorakaalinen sydämen ultraäänitutkimus (TTE) on lähtökohta kaikissa tilanteissa: sillä määritetään läppävian mekanismi, vaikeusaste sekä mahdolliset hemodynaamiset seuraukset. Transesofageaalinen sydämen ultraäänitutkimus (TEE) on ensisijainen täydentävä menetelmä, kun anatomia ei näy riittävästi TTE:llä, kun vuoto on eksentrisen tai monisuihkuinen tai kun suunnitellaan korjaavaa toimenpidettä. Kolmiulotteinen TEE (3D-TEE) on erityisen hyödyllinen mitraali- ja trikuspidaaliläpän anatomisessa analyysissä ja interventiosuunnittelussa (taulukko 1) (1, 2).

Sydämen magneettikuvaus (MK) mahdollistaa kammioiden tilavuuksien ja ejektiofraktion (EF) täsmällisen mittauksen, ja se on usein paras lisätutkimus, kun TTE-/TEE-arviot ovat ristiriitaisia keskenään tai potilaan oireiden kanssa. MK:n vahvuuksia ovat vuotojen toistettava kvantifiointi (etenkin vuoto-osuus), kudoskarakterisointi (esim. fibroosi) sekä oikean kammion luotettava tilavuus- ja toimintamittaus (3). MK:n haasteena on mm. saatavuus (taulukko 1).

Sydämen tietokonetomografian (TT) rooli korostuu anatomisessa arvioinnissa ja katetritoimenpiteiden suunnittelussa (taulukko 1). Se soveltuu erityisesti läppäkalkin määrän arviointiin, mittojen tarkkaan mittaamiseen (läppäannulus, aorta) sekä verisuonireittien kartoittamiseen. EKG-tahdistettu TT on nykyisin keskeinen tutkimus katetritoimenpiteiden, kuten TAVI-toimenpiteen (*transcatheter aortic valve implantation*), tai mitraali- ja trikuspidaalitoimenpiteiden suunnittelussa (2).

Rasitustutkimuksista (rasitus-TTE ja tarvittaessa kliininen rasituskoe) saadaan lisätietoa dynaamisesta vaikeusasteesta sekä oireiden ja lepolöydösten epäsuhdasta. Invasiivinen hemodynaaminen tutkimus (oikean sydämen katetrointi ja tarvittaessa vasemman puolen mittaukset) on aiheellinen, kun kajoamattomien tutkimusten löydökset ovat keskenään ristiriitaisia tai kun mahdollisen pulmonaalihypertension luonne ja vaikeusaste vaikuttavat hoitopäätökseen (2).

Läppävian kuvantamisen tavoitteena ei ole ainoastaan luokitella ahtaumaa tai vuotoa, vaan kuvata koko tautiketju:

- 1) etiologia ja mekanismi,
- 2) vaikeusaste ja
- 3) ekstravalvulaariset seuraukset.

TAULUKKO 1. Multimodaalinen kuvantaminen läppäsairauksien arvioinnissa.

Muokattu lähteestä 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease.

Menetelmä	Rooli kliinisessä arvioinnissa	Keskeiset käyttöaiheet	Edut	Rajoitteet
Transtorakaalinen ultraäänitutkimus (TTE)	Ensilinjan tutkimus: etiologia, mekanismi, vaikeusaste ja hemodynaamiset seuraukset	Läppävian epäily ja seuranta	Laaja saatavuus; anatomian ja hemodynaamian samanaikainen arvio; ei ionisoivaa säteilyä	Kuvaikkunariippuvuus; eksentriset suihkut; geometriset oletukset; kuormitusriippuvuus
Transesofageaalinen ultraäänitutkimus (TEE, 3D)	Anatominen ja funktionaalinen tarkennus; toimenpidesuunnittelu	Riittämätön tai ristiriitainen TTE-löydös; endokardiittiepäily; tekoläppätoimintahäiriö; tromboosiepäily; mitraali- ja trikuspidaaliläpän yksityiskohtainen arvio; korjaavan toimenpiteen suunnittelu	Korkea paikkaerotuskyky; 3D mahdollistaa koaptaation ja läpän skalopien tarkan analyysin	Puoli-invasiivinen; joskus vaatii sedaatiota; ei ensisijainen kvantitatiiviseen virtausmittaukseen; ei tarpeen, jos TTE diagnostisesti riittävä eikä toimenpidesuunnittelua
Sydämen magneettikuvaus (MK)	Kvantitatiivinen viitemenetelmä kammioiden tilavuuksille ja ejektiofraktiolle; täydentävä vuodon kvantifiointi	Ristiriita kaikukuvalöydösten ja kliinisen kuvan välillä; teknisesti rajoittunut kaikututkimus; tarkka vuototilavuuden ja -osuuden määrittäminen; kudoskarakterisoinnin tarve	Tarkka arvio tilavuuksista ja ejektiofraktiosta; kudoskarakterisaatio; virtausmittaukset; ei ionisoivaa säteilyä	Saatavuus; rytmihäiriöherkkyys; läppärakenteiden yksityiskohtien rajallinen erottelukyky
Sydämen tietokonetomografia (TT)	Anatominen arvio ja toimenpidesuunnittelu	TAVI/TMVR-suunnittelu; aortan dimensiot; läppäkalkin määrittäminen; läppäproteesien toiminta; sepelvaltimotaudin arvio valikoidusti	Erinomainen paikkaerotuskyky; kalkkikuorman kvantifiointi	Ionisoiva säteily; varjoaine; rajallinen hemodynaaminen informaatio; ei soveltu vuodon virtausmäärien arviointiin
Rasitustutkimus (rasituskoet/rasitus-TTE)	Dynaamisen vaikeusasteen ja oirekorrelaation arvio	Oireettomat tai vähäoireiset potilaat; oireiden ja lepolöydösten ristiriita; epäily dynaamisesta vaikeutumuksesta	Ennusteellinen informaatio; pulmonaalipaineen nousun ja latenttien toimintahäiriöiden paljastuminen	Kuormitus- ja mittausriippuvuus; tekninen vaativuus; ei tarpeen selvästi vaikeassa ja oireisessa lepolöydöksessä
Invasiivinen hemodynaaminen tutkimus (katetrointi)	Hemodynaamisen kokonaisarvion varmistus epäselvissä tilanteissa	Epäselvä pulmonaalihypertension mekanismi; mitraaliläppäsairaus; vaikea trikuspidaalivuoto; ei-invasiivisten tulosten ristiriita	Tarkka paine- ja virtausmittaus; pulmonaalihypertension mekanismin erottelu	Invasiivisuus; komplikaatio-riski; ei tarpeen, jos ei-invasiivinen arvio yhteneväinen

Lyhenteet: TAVI = transkatetrinen aorttaläpän implantaatio; TMVR = transkatetrinen mitraaliläpän korjaus tai vaihto

Kliininen päätöksenteko perustuu aina integroituihin löydöksiin: yksittäinen mittari harvoin ratkaisee, ja tulkinta tulee perustaa potilaan oireisiin sekä kammio- ja eteismuutoksiin.

Aorttaläppäviat**Aorttaläpän vuoto (AR)**

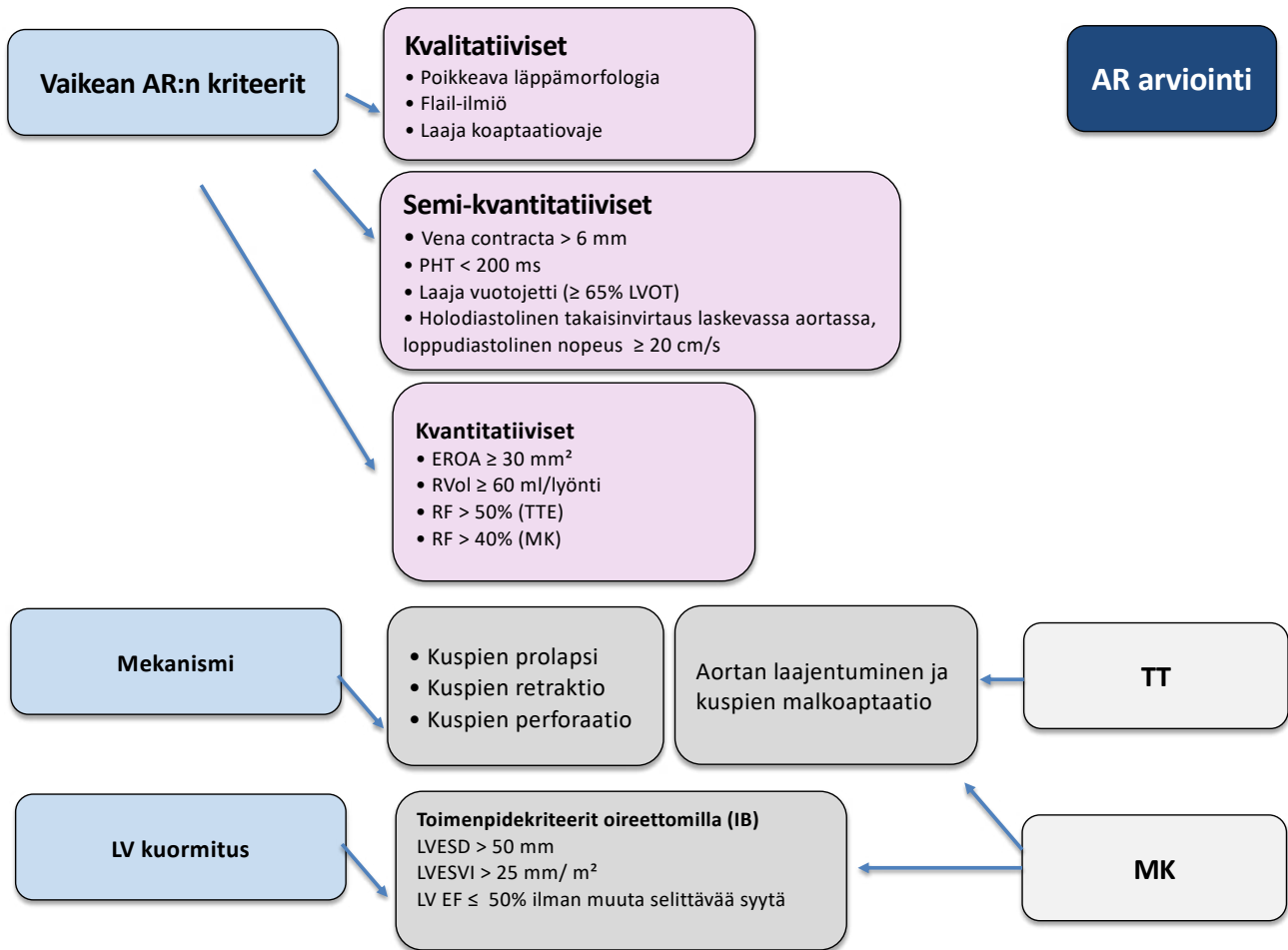
TTE:llä saadaan käsitys aorttaläppävuodon etiologiasta (läppä- vs. aorttaperäinen), mekanismista, vaikeusasteesta sekä sen hemodynaamisesta vaikutuksesta vasempaan kammioon ja keuhkoverenkiertoon (kuva 1). Samalla arvioidaan vasemman kammion ulosvirtauskanava ja nouseva aortta (1, 4, 5).

Vuodon vaikeusaste määritetään yhdistämällä useita toisiaan täydentäviä kvalitatiivisia, puolikvantitatiivisia ja kvantitatiivisia parametrejä (kuva 2.1) (4, 6), sillä geometriset oletukset, tekniset rajoitukset ja potilaan hemodynaaminen tila voivat vaikuttaa yksittäisen mittarin luotettavuuteen (6, 7). TEE:tä käytetään epäselvissä tilanteissa ja toimenpidettä suunniteltaessa, koska se parantaa läpän ja aortan tyven anatomian hahmottamista (4, 8).

Toimenpiteen ajoitus perustuu usein vuodon aiheuttamiin kuormitusmuutoksiin, joten vasemman kammion koon ja sys-

Sydänäänen teemanumerossa 2023 on kuvattu kattavasti läppävian määritelmät, ultraäänimittausten tekniset toteutukset, virhelähteet ja tulkinnan periaatteet. Tässä katsauksessa painotetaan multimodaalisen kuvantamisen rooleja ja kliinisesti keskeisiä tulkintatilanteita.





KUVA 1. Aorttaläppävuodon arviointi. Muokattu lähteestä 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease.

Lyhenteet: AR = aorttaläpän vuoto, PHT = paineen puoliintumisaika vuotosuihkussa, LVOT = vasemman kammion ulosvirtauskanava, RVol = vuototilavuus, RF = vuoto-osuus, TT = tietokonetutkimus, MK = sydämen magneettitutkimus, LV EF = vasemman kammion systolinen funktio, LVESDVI = vasemman kammion loppudiasistolinen tilavuus indeksoituna, LVESVI = vasemman kammion loppusystolinen tilavuus indeksoituna.

tolisen toiminnan arviointi on keskeistä (6). TTE:llä seurataan loppudiastolista ja -systolista läpimittaa sekä ejektiofraktiota (4, 6). Rajatapauksissa ultraäänitutkimus ja MK tarkentavat tilavuusmittauksia. Vasemman kammion pitkittäissupistumisen arviointi GLS-menetelmällä (*global longitudinal strain*) auttaa tunnistamaan varhaista systolista toimintahäiriötä, ja mahdolliset fibroosimuutokset voivat tukea sydänlihaskudoksen vaurion vaikeusasteen arviointia; näiden menetelmien rooli hoitosuosituksissa ei kuitenkaan vielä ole vakiintunut (kuva 2.2) (6).

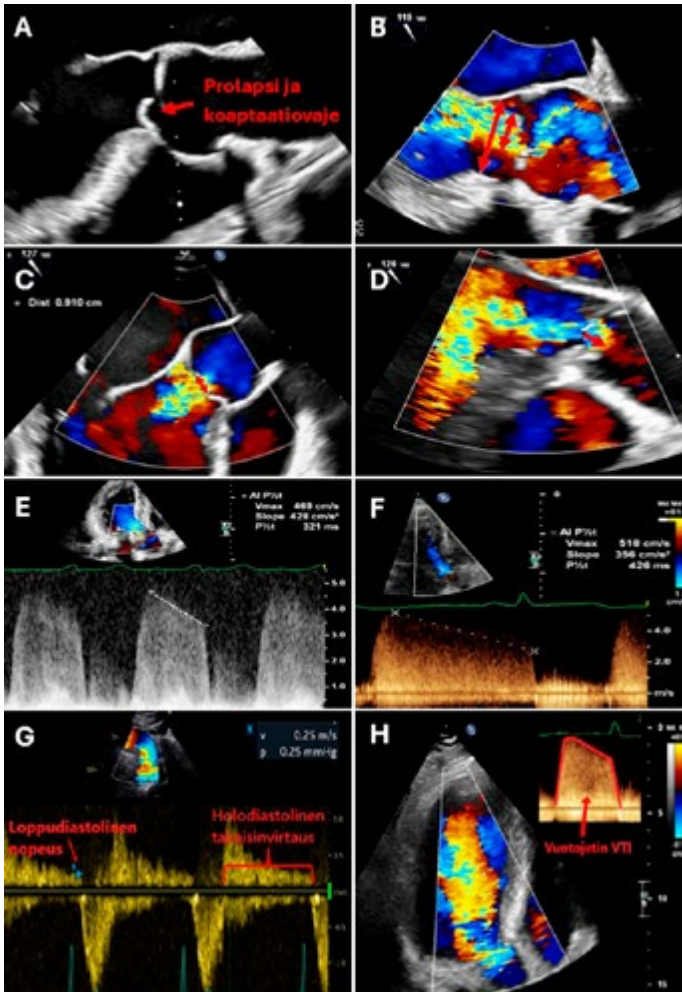
Lisäksi MK mahdollistaa aorttaläpän eteenpäin suuntautuvan virtauksen, vuototilavuuden ja vuoto-osuuden kvantifiointin (kuva 2.3) (2). Kirjallisuudessa raportoidut raja-arvot vaihtelevat, joten MK:n kvantitatiiviset tulokset tulee aina suhteuttaa kokonaisuuteen. Euroopan kardiologisen seuran (ESC) hoitosuosituksessa vaikean AR:n vuoto-osuus on >40 %, kun taas TTE:ssä sama raja-arvo on >50 % (kuva 1).

TT:n rooli korostuu erityisesti preoperatiivisessa vaiheessa (5). Se soveltuu aorttaläpän sekä aortan morfologian ja kalkkisuuden arviointiin sekä aortan dimensioiden tarkkaan mittaamiseen. Valikoiduissa tilanteissa voidaan samalla arvioida myös sepelvaltimoiden ateroskleroosimuutoksia (kuva 2.4) (5).

Aorttaläpän ahtauma (AS)

Aorttaläpän ahtauman arvioinnin kulmakivi on TTE, jolla määritetään virtausnopeuden huippu ja keskigradientti aorttaläpässä sekä jatkuvuusyhtälöllä laskettu läppäaukon pinta-ala (kuva 3) (1, 6, 11). Ahtauman vaikeusasteen lisäksi on arvioitava sen aiheuttaman painekuormituksen seurauksia: se johtaa vasemman kammion seinämäpaksuuntumaan, diastoliseen toimintahäiriöön, vasemman eteisen laajentumiseen ja ajan myötä sydämen oikean puolen kuormittumiseen kohoavien pulmonaalipaineiden myötä. Ejektiofraktio on edelleen ainoa vasemman kammion mittari, joka sisältyy nykyisiin hoitosuosituksiin, mutta GLS voi täydentää riskiarvioita (6, 11, 14).

Ristiriitaiset kaikukuvauslöydökset ovat tavallisia etenkin huonon näkyvyyden tai alhaisen virtauksen tilanteissa (*low-flow/low-gradient*) (11). Tällöin TT:n natiivisarjasta määritettävä aorttaläpän Agatston-kalkkipiteisyys tarjoaa virtauksesta riippumattoman ja toistettavan mittarin, joka auttaa vaikeusasteen luokittelussa (kuva 2.4). Menetelmä on erityisen hyödyllinen iäkkäillä potilailla, joilla aorttaläppä on usein voimakkaasti kalkkeutunut. Nuoremmilla puolestaan läppäpurjeiden fibrotisoituminen ja liimaantuminen ilman merkittävää kalk-



KUVA 2.1. Kaikukuvausmenetelmät aorttaläpän vuodon vaikeusasteen arvioinnissa. (A) Läpän morfologia; (B) vuotojetin leveys / vasemman kammion ulosvirtauskanavan (LVOT) halkaisija; (C) vuodon kaula (vena contracta); (D) vuotosuihkun kiihtyvyyden alue (PISA, proximal isovelocity surface area); (E) paineen puoliintumisaika vuotosuihkussa (PHT, pressure half time); (F) vuotokäyrän tiheys; (G) holodiastolinen takaisinvirtaus laskevassa aortassa, huomaa loppudiastolinen vuoto nopeus > 20 cm/s; (H) vuotoaukon pinta-ala (EROA, effective regurgitation orifice area), vuototilavuus (RV, regurgitant volume) ja vuotoosuus (RF, regurgitant fraction).

keutumista on yleisempää, jolloin läppävian vaikeusasteen tarkentamiseksi suositellaan ensisijaisesti rasisitus-TTE:tä tai TEE-tutkimusta (12).

TT on keskeinen myös TAVI-toimenpidettä suunniteltaessa. Aorttaläpän ja aortan anatomian sekä kalkkisuu-den lisäksi siinä arvioidaan sepelvaltimoiden suuaukkojen etäisyys läppäaukon tasosta, optimaaliset projektio-kulmat tekoläpän asennusta varten sekä verisuonireittien käytettävyys (13). Toimenpidekuvantamista käsitellään tarkemmin tämän teemanumeron kappaleessa 10.

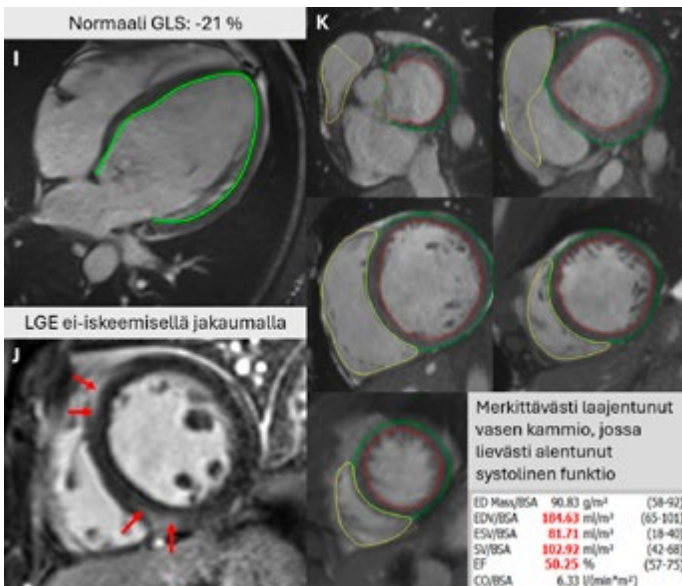
MK ei ole aorttaläpän ahtauman diagnostiikassa vaikiintunut rutiinikäyttöön, mutta se tarkentaa tarvittaessa vasemman kammion mittoja sekä mahdollistaa kudosa-karakterisoinnin (13). Myös kertymäsairauksien, kuten transytreiniamyloidoosin, mahdollisuus on pidettävä mieles-sä; tällöin MK ja tarvittaessa isotooppitutkimukset tukevat diagnostiikkaa (11, 14).

Kombinoitu aorttaläppävika

Kun aorttaläpän ahtauma ja vuoto esiintyvät samanaikai-sesti, vasen kammi altistuu yhtäaikaiselle paine- ja tila-vuuskuormitukselle. Kompensaatiomekanismit (hypertrofia ja dilataatio) voivat kehittyä epätyypillisellä tavalla, ja ejektiofraktio voi säilyä pitkään normaalina merkittävästä kokonaisuormituksesta huolimatta. Myös vasen eteinen voi laajentua, kun täyttöpaineet nousevat.

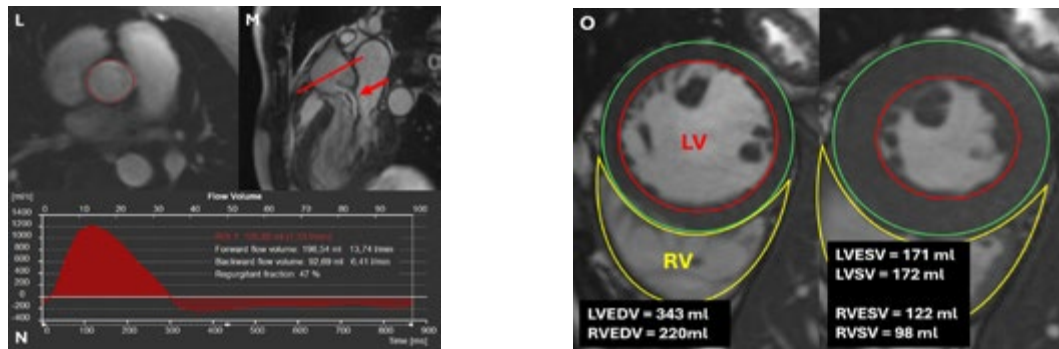
Oireiden ja lepolöydösten epäsuhdassa rasisitusko-keesta tai ultraäänitutkimuksesta voi olla hyötyä (taulukko 2) (1, 14). Jos jompikumpi vika täyttää merkittävän läp-pävian piirteet, on arvio selkeä ja vikaa pidetään merkittä-vänä. Toistaiseksi ei ole tutkimusnäyttöä siitä, että lieväl-lä liitännäisvialla (vuoto tai ahtauma) olisi ennusteellista merkitystä toisen vian ollessa keskivaikea, eivätkä nämä potilaat nykytiedon valossa hyödy toimenpiteistä. Toisaalta toisen vian ollessa vaikea ennuste heikkenee liitännäis-vian myötä (1).

TTE:hen liittyy joitakin haasteita ja erityispiirteitä. Ah-tauman arvioinnissa vuoto korostaa tilavuuskuormituksen takia virtausnopeuksia. Siitä huolimatta maksimivir-tausnopeus ja keskigradienetti heijastavat kokonaisuor-mitusta paremmin kuin AVA, joka kombinoitussa viassa voi puolestaan aliarvioida vaikeusastetta etenkin suuren iskutilavuuden vallitessa. Maksimigradienetti on kombinoi-dussa viassa ennusteellisesti merkittävämpi tekijä kuin AVA (15). Joskus AVA voi säilyä vielä tasolla yli 1 cm², vaikka vika on jo kokonaisuutena merkittävä. TTE:n ohella raja-tapauksissa muut kuvantamismodaliteetit voivat olla hyö-dyksi läppävian vaikeusasteen arvioinnissa.



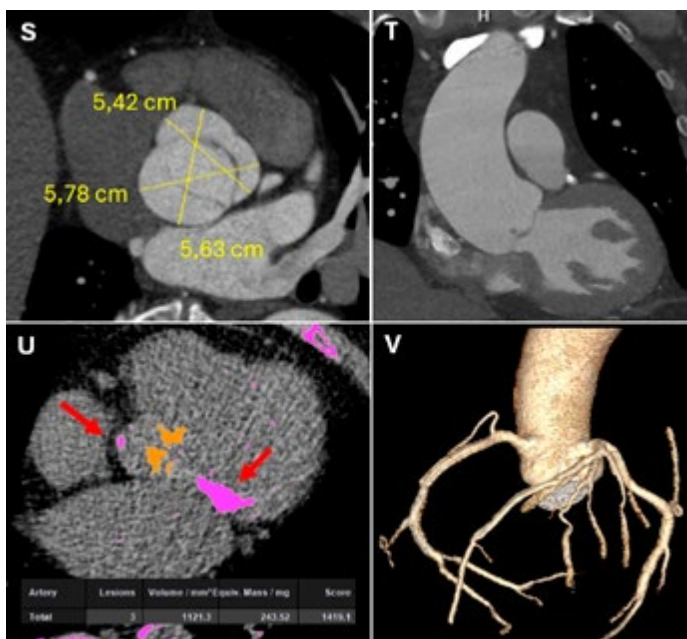
KUVA 2.2. Vasemman kammion koon ja toiminnan arviointi sekä kudosa-karakterisointi MK:lla potilaalla, jolla on AR. (I) Vasemman kammion pitkäittäisnuovautuminen (GLS): leikkaushoitoa puoltavaa tarkkaa raja-arvoa ei ole määritelty; ultraäänitutkimuksessa GLS -15 % - -19 % voi tukea päätöksentekoa, etenkin jos vasen kammi on jo laajentunut (7). (J) Jälkitechostumakuva lyhyen akselin suunnasta: vasemman kammion basaalisesta septumin ja kammioinsertioiden jälkitechostumat ei-iskeemisellä jakaumalla. (K) Vasemman kammion tilavuuden laske-minen lyhyen akselin liikekuvasarjasta.



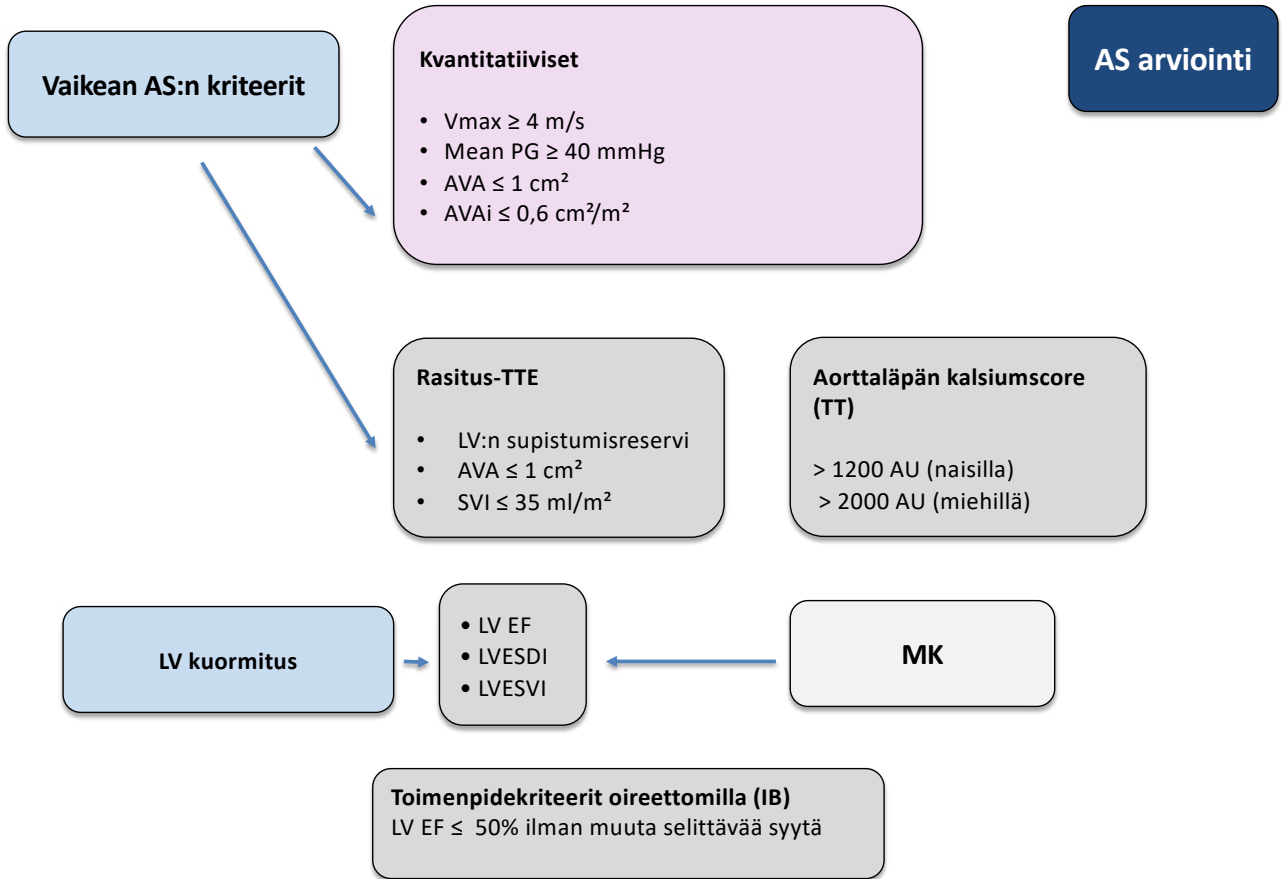


Menetelmä	Aorttaläppätasoon kohtisuora virtausmittaus	LV- ja RV-iskutilavuuksien erotuksen laskeminen
Mittaustapa	Suora	Epäsuora
Laskelma	$\text{RegF} (\%) = (\text{RegV}/\text{FV}) * 100$	$\text{RegV} = \text{LVSV} - \text{RVSV}$ $\text{RegF} (\%) = (\text{RegV}/\text{LVSV}) * 100$
Edut	<ul style="list-style-type: none"> • Yksinkertainen • Lyhyt kuvausaika • Helppo jälkikäsitelly 	<ul style="list-style-type: none"> • Yksinkertainen • Lyhyen akselin liikesarja sisältyy kaikkiin tavanomaisiin sydämen MK-protokolleihin
Rajoitukset	<ul style="list-style-type: none"> • Hyvin eksentrisen vuoto • Epäsäännöllinen syke • Kombinoitussa aorttaläppäviassa voi aliarvioida kiihtyneen virtauksen vuoksi • Liikeartefaktit aortan alueella • Taustanopeuden korjausmenetelmän virheet 	<ul style="list-style-type: none"> • Heikko toistettavuus • Virhealtis (basaalisten segmenttien rajausta) • Ei sovellu samanaikaisen muun läppävuodon eikä oikovirtauksen yhteydessä
Käyttökelppoisuus	Isoloitu aorttaläppävikä, moniläppävikä	Isoloitu aorttaläppävikä

KUVA 2.3. Kaksi erilaista aorttaläppävuodon vaikeusasteen arviointitapaa MK:lla. (L) Suora mittaustapa. Aorttaläppätasoon kohtisuora (throughplane) virtausmittaus; aortta on rajattu punaisella ympyrällä. (M) LVOT-liikekuva; punaisella viivalla on merkitty aortan virtausmittauksen taso ja punaisella nuolella vino vaikea-asteinen vuoto. (N) Aortan virtauskäyrä vaikeassa aorttaläppän vuodossa. Analyysiohjelman laskema vuototilavuus ja -osuus. (O) Epäsuora mittaustapa. Molempien kammioiden loppudiasistolista ja loppusystolista tilavuuksista lasketaan iskutilavuudet, joiden erotus isoloidussa aorttaläppävuodossa vastaa vuototilavuutta. FV (forward volume) = eteenpäinvirtauksen tilavuus; LVSV (left ventricular stroke volume) = vasemman kammion iskutilavuus; RegF (regurgitant fraction) = vuoto-osuus; RegV (regurgitant volume) = vuototilavuus; RV (right ventricle) = oikea kammio, oikean kammion loppusystolinen tilavuus; RVSV (right ventricular stroke volume) = oikean kammion iskutilavuus.



KUVA 2.4. Aorttaläppä ja aortta TT-tutkimuksessa. (S) Aortan sinus Valsalva -tason mittaaminen liuskasta liuskaan menetelmällä kolmessa suunnassa. Aorttaläppän liuskaisuutta ja avautumista voidaan yleensä arvioida systolisessa kuvauksessa (aortan TT), mutta ei diastolisessa kuvauksessa (sepelvaltimoiden TT on useimmiten ajoitettu diastoleen). (T) Aortan morfologian ja kalkkisuuden arviointi sekä rinta-aortan tarkkojen mittojen määrittäminen. (U) Agatston-kalkkipisteytyksen määrittäminen natiivisarjasta, oranssilla näkyvät aorttaläppän kalkkeumat, ja punaiset nuolet osoittavat mitraaliläppän anuluskalkkiin sekä aortan tyven kalkkeumaan. (V) Sepelvaltimoiden arviointi.



KUVA 3. Aorttaläpän stenoosin arviointi. Muokattu lähteestä 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. Lyhenteet: AS = aorttaläpän stenoosi, V_{max} = huippuvirtaus, Mean PG = keskigradietti, AVA = aorttaläpän pinta-ala, AVAi = aorttaläpän pinta-ala indeksoituna, SVI = iskuilavuus indeksoituna, LVOT = vasemman kammion ulosvirtauskanava, MK = sydämen magneettitutkimus, LV EF = vasemman kammion systolinen funktio, LVESDI = vasemman kammion loppu diastolinen tilavuus indeksoituna, LVESVI = vasemman kammion loppusystolinen tilavuus indeksoituna.

TT:llä voidaan arvioida kalkkisuusastetta, mutta MK on erityisen hyödyllinen rajatapauksissa, koska ahtauman (planimetria) ja vuodon (faasikontrasti) analyysi voidaan tehdä toisistaan riippumatta ja kammion kuormitus arvioida tarkasti. Potilailla, joilla molemmat viat ovat keskivaikeita, seurannan tiheys perustuu oireisiin ja kuormitusmuutoksiin (16); natriureettisten peptidien ja strainin trendiseuranta voi tukea hoidon ajoitusta (17). Oireisilla potilailla ja kuormitusmerkkien ilmaantuessa moniammatillinen heart team -arvio on perusteltu, ja hoitomenetelmä valitaan potilas- ja anatomialähtöisesti.

Mitraaliläppävika

Mitraaliläpän vuoto (MR)

Mitraalivuoto jaetaan primaariseen (PMR) ja sekundaariseen (SMR), koska mekanismi määrittää ennusteen ja hoidon (kuva 4) (1).

PMR johtuu läppäapparaatin rakenteellisesta viasta. Degeneratiivinen prolapsi/läpän vapaan reunan eversio [*flail*] on tavallisin korkean tulotason maissa, kun taas muualla korostuu reumaattinen etiologia; endokardiitti nähdään omalla kokonaisuutenaan.

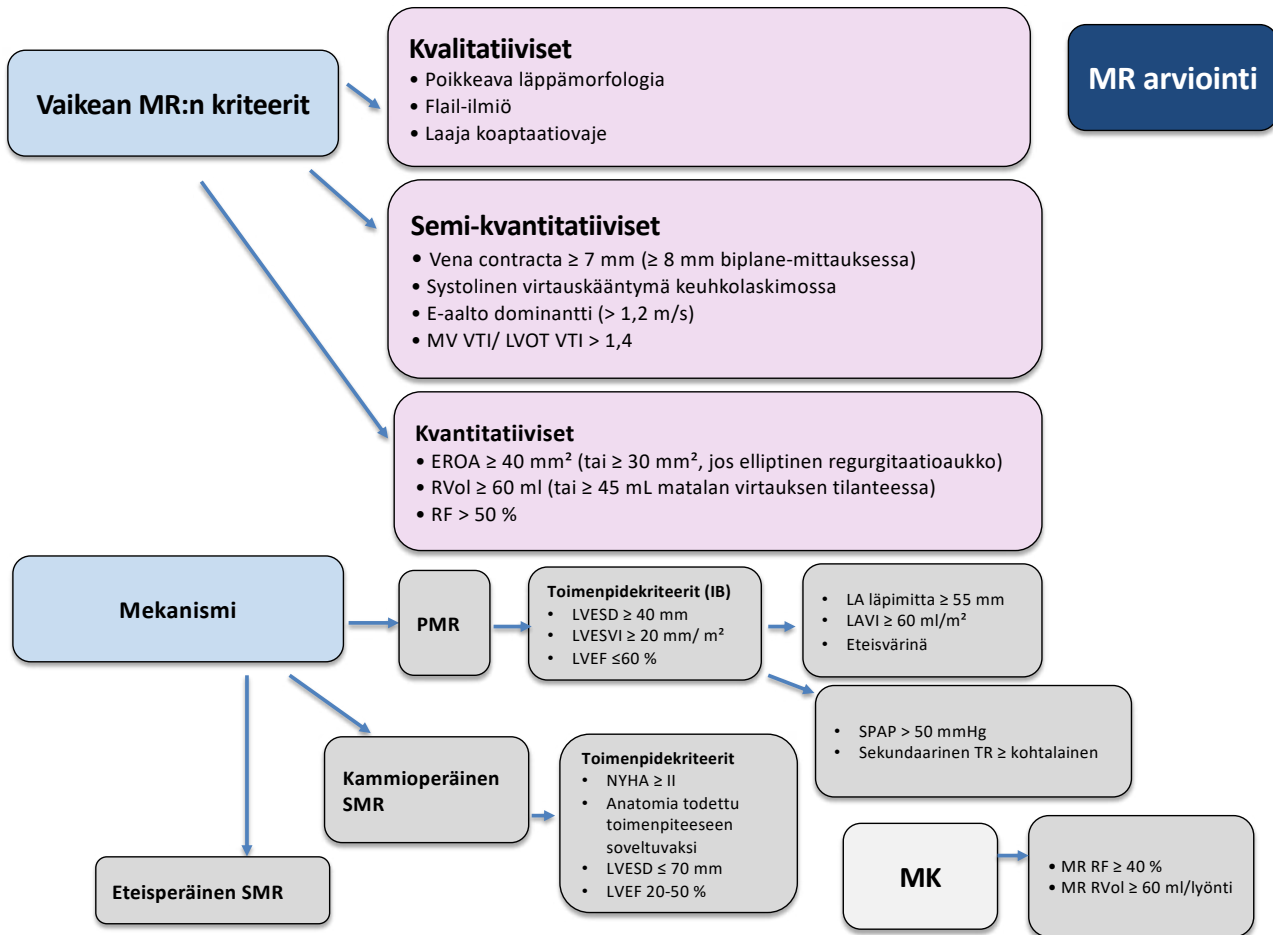
Sekundaarisessa mitraalivuodossa läppärakenne on pääosin normaali ja vuoto syntyy vasemman kammion ja/tai eteisen muovautumisen aiheuttamasta läppäpurjeiden apikaalisesta vetäytymisestä (*tethering*) ja/tai näiden puutteellisesta sulkeutumisesta (koaptaatioviasta). Sekundaarinen vuoto voidaan jäsentää kammioperäiseksi ja eteisperäiseksi, mutta fenotyypit limittyvät usein (2, 18–20).

Käytännössä selvästi lievä vuoto (pieni ohut sentraalinen suihku, normaali anatomia) tai ilmeisen vaikea vuoto (flail tai selvä koaptaatiovika) tunnistetaan usein nopeasti, mutta valtaosa tilanteista edellyttää integroitua kvantifiointia. TEE on paras menetelmä läppäanatomian varmistamiseen ja toimenpidesuunnitteluun. 3D-TEE tulee tehdä systemaattisesti kirurgista tai katetriavusteista korjausta suunniteltaessa (kuvat 5.1, 5.2) (2, 18).

Väridopplerin suihkun pinta-ala (*jet area*) ei sovellu mitraalivuodon määrälliseen arviointiin, koska se riippuu voimakkaasti ultraäänilaitteen asetuksista ja kammion paineolosuhteista. Väridopplerin ensisijainen tehtävä on vuodon toteaminen sekä suihkun suunnan ja mekanismin hahmottaminen.

Vaikeusaste määritetään useiden mittareiden perusteella (kuva 5.1). Keskeisiä ovat *vena contracta* (mielellään useas-





KUVA 4. Mitraaliläppävuodon arviointi. Muokattu lähteestä 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease.

Lyhenteet: MR = mitraaliläppän vuoto, EROA = vuotoaukon pinta-ala, VTI = doppler-virtausnopeusindeksi, RVol = vuototilavuus, RF = vuoto-osuus, MK = sydämen magneettitutkimus, LVEF = vasemman kammion systolinen funktio, LVESDVI = vasemman kammion loppudiasistolinen tilavuus indeksoituna, LVESVI = vasemman kammion loppusystolinen tilavuus indeksoituna, LAVI = vasemman eteisen pinta-ala indeksoituna, SPAP = systolinen pulmonaalipaine, TR = trikuspidaaliläppän vuoto, NYHA = sydämen vajaatoiminnan oireet.

ta syklistä ja tarvittaessa kahdesta ortogonaalisesta tasosta), PISA-menetelmästä johdetut EROA ja vuototilavuus (RVol) sekä vuoto-osuus (RF). Sekundaarisessa vuodossa vuotoaukko on usein elliptinen, jolloin vena contracta (VC) vaihtelee näkymittäin ja 3D-kuvantamisesta on hyötyä (VC-alueen planimetria). Usean suihkun VC-arvoja ei tule laskea yhteen. PISA on käytännössä keskeinen kvantifiointimenetelmä, mutta sen luotettavuus riippuu sekä vuotoaukon että PISA-pallon geometriasta ja signaalin laadusta. Lisäksi mitraalivuoto on usein dynaamista: prolapsissa PISA voi suurentua loppusystoleen, ja sekundaarisessa vuodossa voi esiintyä varhais- ja myöhäissystolisia huipuja. Yhden aikapisteen mittaus voi siten yli- tai aliarvioida kokonaisvuotoa (2, 18–20).

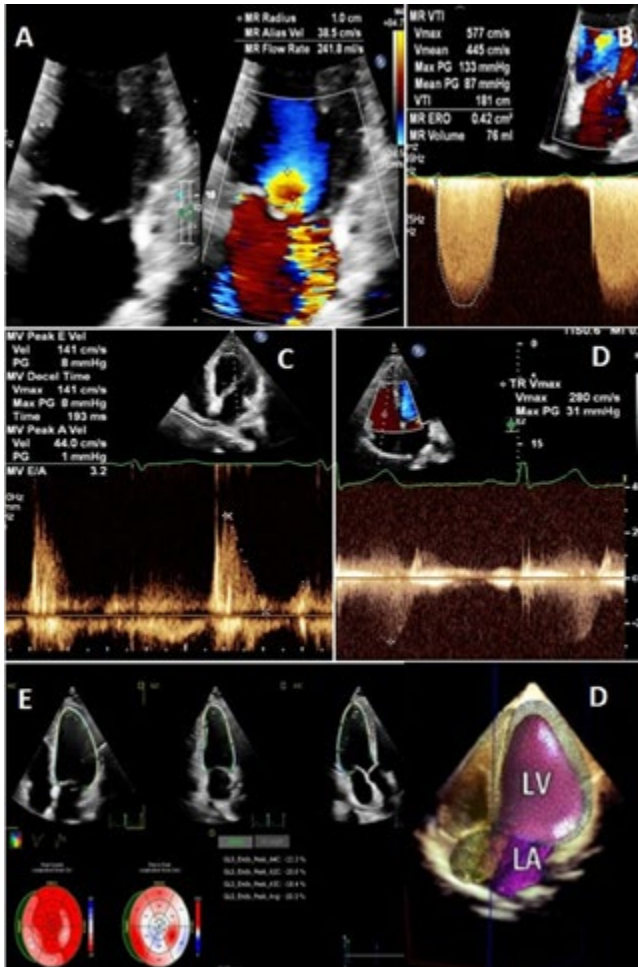
Vuoto-osuus on kliinisesti käyttökelpoinen mittari (MR RF ≥ 50 %). Erityisesti matalan iskutilavuuden sekundaarisessa vuodossa vuoto-osuuden arvo voi olla informatiivisempi kuin yksittäinen EROA. Vaikeaa vuotoa tukevia löydöksiä ovat mm. selvä keuhkolaskimoiden systolinen takaisinvirtaus ja tiheä jatkuva-aaltoinen dopplersignaali (CW-signaali), mutta nämäkin tulee tulkita rytmin (eteisvärinä), vasemman eteisen paineen ja kuormitustilanteen kontekstissa. Mitraaliläppän ja vasemman

kammion ulosvirtauskanavan virtauksen dopplerkäyrien (LVOT VTI) suhde $> 1,4$ myös viittaa vaikeaan vuotoon (etenkin puh-taassa primaarissa MR:ssä). E-virtausnopeus $> 1,2$ m/s (ilman läppän stenoosia) tukee vaikeaa mitraalivuotoa, mutta selvä A-aalto tekee vaikean mitraalivuodon epätodennäköiseksi (kontekstisidonnainen) (2, 20, 21).

Seurannassa painottuvat merkittävän mitraalivuodon aiheuttamat muutokset sydämen koossa, toiminnassa ja keuhkovaltimopaineissa (22). Primaarinen mitraalivuoto voi kompensoitua pitkään, jolloin ejektiofraktio säilyy näennäisesti normaalina dekompensoitumisen alkuvaiheeseen asti. Sekundaarisessa mitraalivuodossa kokonaiskuva ja kuormitusmuutokset ohjaavat tulkintaa: vuodon ”suhteellisuus” kammion kokoon ja toimintaan nähden on olennainen.

Rasitus-TTE voi auttaa, kun oireet ja vuoto eivät vastaa toisiaan ja epäillä, että mitraalivuoto on dynaaminen. Huonon ennusteen piirteitä rasituksessa ovat vuodon selvä vaikeutuminen, pulmonaalihypertensio, puutteellinen supistumisreservi sekä oikean kammion vajaatoiminta (2, 18, 19).

MK on hyödyllinen ristiriitatilanteissa, eksentrisissä tai monisuihkuisissa vuodoissa sekä tilanteissa, joissa kammioi-



KUVA 5.1. Mitraaliläppävuoto TTE-tutkimuksessa. Vaikea krooninen primäärinen MR johtuen molempien purjeiden prolapsista. (A) Colour compare-menetelmällä PISAn arviointi nelilokerokuvasta väridupplerilla, zoomaus mitraaliläpän alueelle. Oikealla visualisoitavissa kaikki kolme vuotosuihkun komponenttia (kiihtyvyyalue, vuodon kaula, vuotosuihkun häntä), vasemmalla läpän anatomia ja koaptaatiovajaus. (B) Vuotoaukon pinta-ala ja vuototilavuus. (C) Mitraaliläpän sisäänvirtaus: E-virtausnopeus 1,52 m/s (ilman läpän stenoosia) tukee vaikeaa MR:ää. (D) Trikuspidaaliläpästä gradientti koholla yli 30 mm Hg. (E) Strain-arvo GLS -22 % eli normaalin rajoissa. (F) 3D-menetelmä mahdollistaa tarkan kammioiden tilavuuksien ja systolisen funktion arvioinnin.

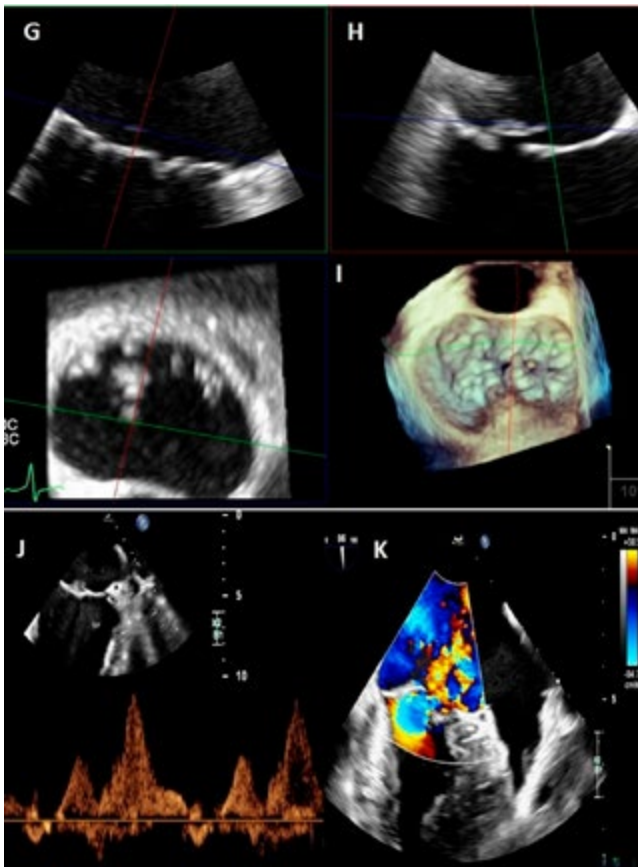
den tarkat tilavuudet ja fibroosi ovat olennaisia (kuva 5.3.). MK kvantifioi mitraalivuodon usein epäsuorasti vertaamalla vasemman kammion kokonaiskutilavuutta aortan eteenpäin suuntautuvaan virtaustilavuuteen ($MR\ RVol = LV\ SV$ [kinesarjan tilavuuksista] – aortan eteenpäinen iskutilavuus [faasikontrasti]; $RF = RVol / LV\ SV$) (23, 24). Koska MK yhdistää koko systolen ja sydämen ultraäänitutkimus usein mittaa valittua hetkeä, menetelmien välinen yhtenevyys voi olla vain kohtalainen, etenkin sekundaarisessa vuodossa. Jos ero vaikuttaa hoitopäätökseen, MK toimii usein hyvänä lisätutkimuksena.

Oikean sydämen katetrointi on hyödyllinen, jos ei-invasiivinen arvio on ristiriitainen tai pulmonaalihypertension tyyppi ja vaikeusaste vaikuttavat toimenpiteen hyötyodotukseen.

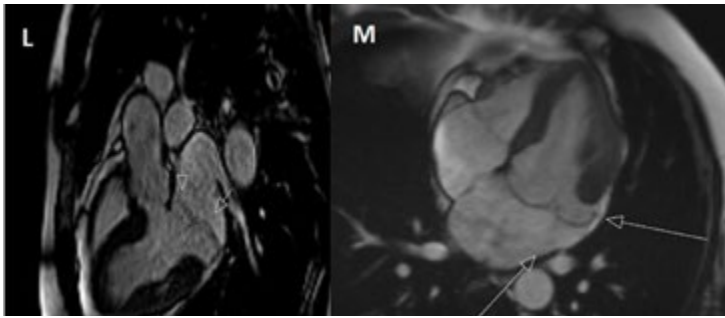
Mitraalistennoosi (MS)

Mitraalistennoosin etiologia on useimmiten reumaattinen tai degeneratiivinen. Reumaattisissa stenooissa patognomoinen TTE-löydös on kommissuurafusio. Tyypillisiä ovat lisäksi purjeiden paksuuntuminen ja liikerajoitus, kalkkeumat, jännerihmojen paksuuntuminen ja lyhentymisen sekä koaptaatiolinjan siirtyminen apikaalisemmin annulustasoon nähden. Subvalvulaarisen aparaatin osallistuminen vaikuttaa olennaisesti toimenpidekelpoisuuteen.

Mitraaliläpän pinta-ala (MVA) on keskeinen vaikeusasteen mittari, ja se voidaan määrittää joko planimetroimalla tai PHT-menetelmällä (20). Planimetriassa parasternaalisesta lyhyen akselin kuvasta mittaustaso tulee asettaa purjeiden kärkiin diastoleissa. Mittaustason virheellinen korkeus johtaa yli- tai aliarviointiin, joten 3D-mittausta on hyvä käyttää myös TTE:ssä. Zoomaus, korkea taajuus ja optimaalinen vahvistus (gain) vähentävät mittaustasovirhettä. TEE parantaa anatomista tarkkuutta.



KUVA 5.2 Mitraaliläppävuoto TEE-tutkimuksessa. Multiplane-menetelmällä (G) kommissuuraprojektiossa 60–80° mitraaliläpästä näkyy P3-A2-P1-alueella skaloppeja, (H) pitkän akselin kuva 120–140°: mitraaliläpästä näkyy P2-A2-alueella skaloppeja. Mitraaliläppää voi skannata lateraali-mediaalisuunnassa anturia kiertämällä tai anturia laskemalla ja nostamalla. Käännös myötäpäivään tai anturin laskeminen alemmas ruokatorvessa tuo esille mediaaliosat eli A3-P3-alueita. (I) 3D-kuva mitraaliläpästä, jossa kordaruptuura ja P2-alueen prolapsi. (J) Keskivaikeassa MR:ssä pulmonaalilaskimossa S-aalto pienenee ($S < D$), mutta vaikeassa vuodossa systolisen virtauksen kääntymisen on hyvin spesifinen löydös. (K) kaksilokerokuva 80–100°: mitraaliläpästä näkyy alueella P3-A3-A1 skaloppeja; suurimman vuotokohdan löytymiseksi täytyy joskus säätää anturin korkeutta.



KUVA 5.3. Mitraaliläppävuoto MK-tutkimuksessa. (L) Mitraaliläppäprolapsi kolmelokerokuvassa kinesarjassa. (M) Nelilokerokuvassa vasen eteinen laajentunut, molemmin purjeen prolapsi.

ta. PHT-menetelmä on altis esikuorman, vasemman kammion komplianssin ja samanaikaisen aorttavuodon vaikutuksille.

Keskimääräinen transmitraalinen painegradientti mitataan CW-dopplerilla huolellisella linjauksella suurimman virtausnopeuden suuntaisesti. Gradientti on voimakkaasti kuormitus- ja sykeriippuvainen: syketaajuus tulee aina raportoida, ja $< 80/\text{min}$ on suositeltava luotettava arviota varten, erityisesti eteisvärinässä keskiarvoistamalla useita syklejä (20). Keuhkovaltimopaineet täydentävät hemodynaamista arviota ja ovat ennusteellisesti merkittäviä.

TEE on keskeinen vasemman eteisen trombin pois sulkeamisessa ja perkutaanisen kommissurotomian suunnittelussa. Rasitus-TTE voi olla hyödyllinen, jos oireet ja lepolöydökset ovat ristiriidassa keskenään. Degeneratiivisessa mitraalistennoosissa laaja, usein posteriorisesti painottuva kalkki rajoittaa ultraäänikuvausta, ja TEE ja EKG-tahdistettu TT ovat tärkeitä kalkin laajuuden ja sijainnin kartoituksessa toimenpiteitä suunniteltaessa (1).

Kombinoitu mitraaliläppävika

Mitraalistennoosin yhteydessä merkittävä mitraalivuoto ei ole harvinainen (25). Vuodon tunnistaminen on oleellista, koska kohtalainen tai vaikea vuoto on pallolaajennushoidon vasta-aihe (1).

Mitraalivuoto vaikuttaa mitraalistennoosin arviointiin (kuva 6). Vuoto lisää diastolista sisäänvirtausta ja nostaa gradientteja, jolloin pelkkä gradientti voi yliarvioida stenoosin hemo-

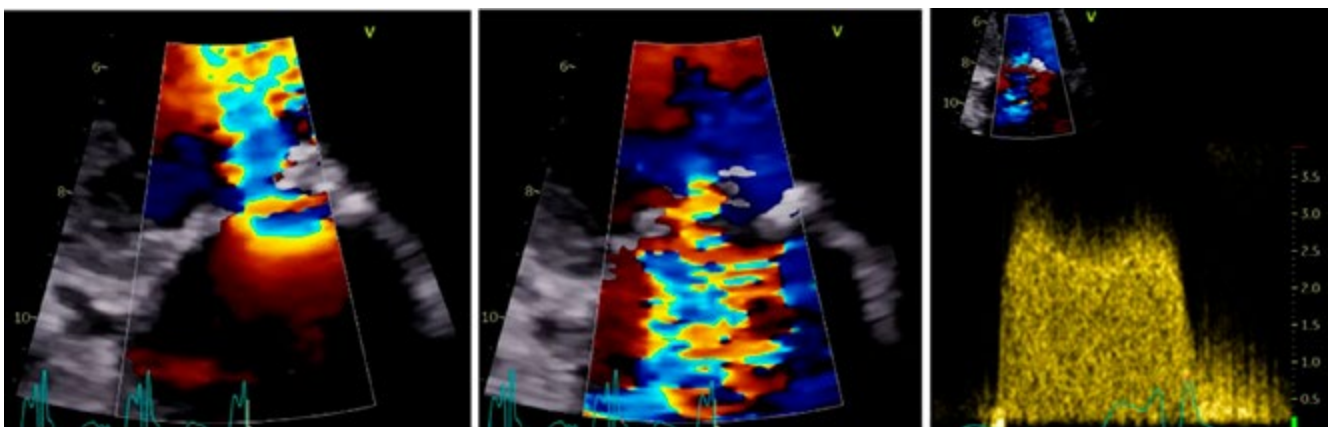
dynaamista merkitystä. Mitraalivuodon vaikutus vasemman kammion täyttöön aiheuttaa myös sen, että mitraalisiinäänvirtauksesta mitattavan paineen puoliintumisajan perusteella arvioitu läppäaukon pinta-ala ei ole luotettava kombinoitussa viassa (26). Siksi tarkin arvio stenoosista saadaan anatomisella planimetrialla, mieluiten 3D-kuvantamista hyödyntäen. Jos kalkki rajoittaa näkyvyyttä, TT voi täydentää anatomista arviota.

Samanaikainen aortta- ja mitraaliläppävika

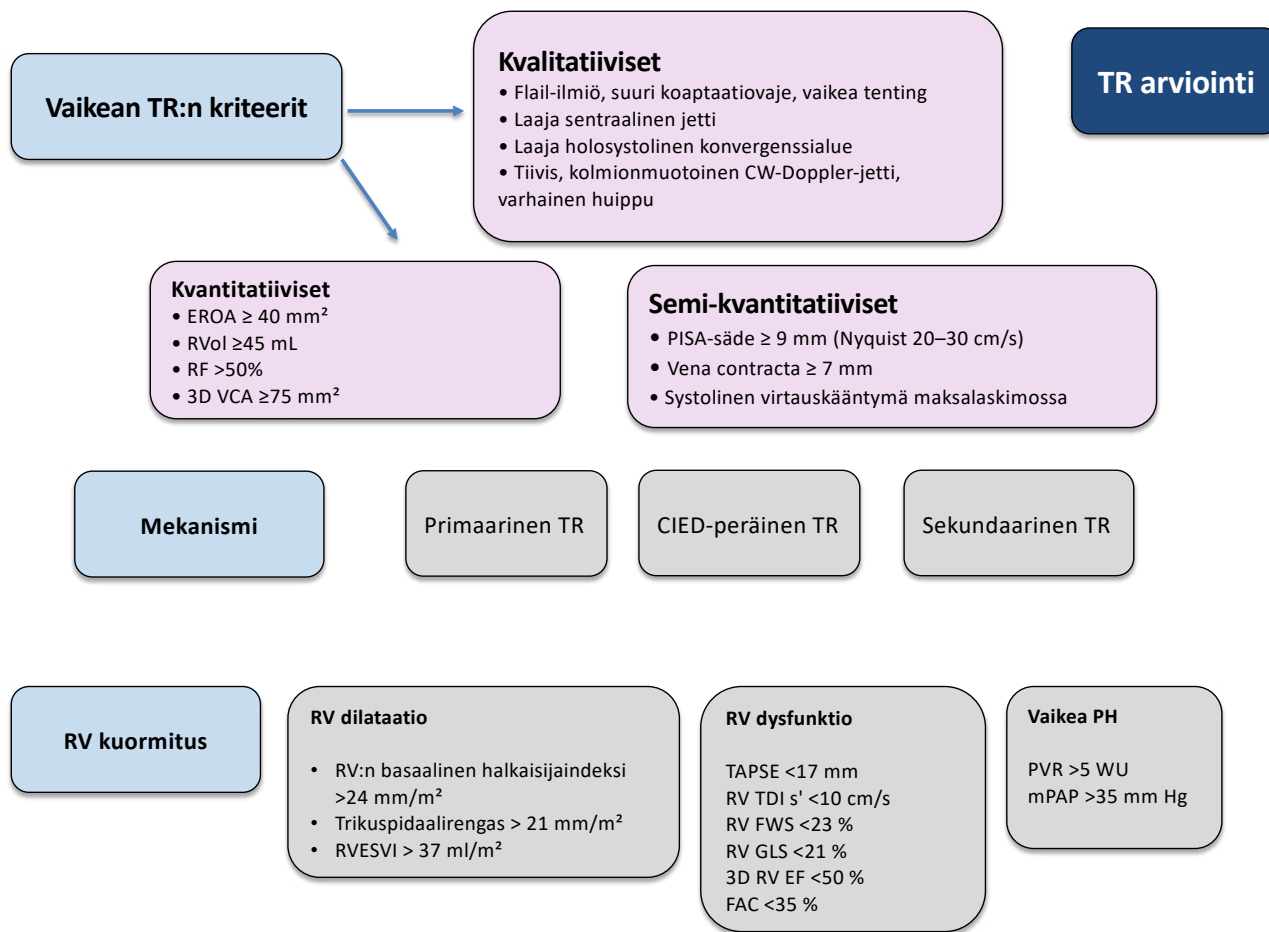
Aortta- ja mitraaliläpän samanaikaiset viat ovat yleisiä. Yhden vaikean läppävian yhteydessä toisen läpän lievän vian hoidollinen merkitys on usein vähäinen. Sen sijaan kahden vähintään kohtalaisen vian yhdistelmä aiheuttaa tulkinta- ja hoitohaasteita, koska viat vaikuttavat toistensa hemodynaamisiin mitareihin ja voivat peittää kuormitusmuutoksia (taulukko 2) (1).

Pelkkään aorttaläppävuotoon verrattuna aortta- ja mitraaliläppien samanaikaiseen vuotoon liittyy enemmän vasemman kammion systolista toimintahäiriötä ja huonompi ennuste, erityisesti kun kyseessä oli toiminnallinen mitraalivuoto (27).

Aorttastenoosin yhteydessä mitraalivuoto on usein toiminnallinen ja voi pienentyä merkittävästi aorttavian korjauksen jälkeen (28, 29). Mitraalivuoto voi puolestaan pienentää tehokasta iskutilavuutta, jolloin aorttastenoosin gradientti voi jäädä matalaksi vaikeassakin stenoosissa (28). Tällöin jatkuvuusyhtälöllä laskettu läppäaukon pinta-ala ja TT:n kalkkipis-



KUVA 6. Kombinoitu mitraaliläppävika. Esimerkki todennäköisesti reumakuumeen aiheuttamasta mitraalistennoosista. Runsaasti kalkkeutuneessa läpäsä näkyy väridopplerkuvissa sekä kiihtynyt, stenoottinen diastolinen virtaus (vasen kuva) että systolinen mitraalivuoto (keskimmäinen kuva). Jatkuvalle spektraalidopplerilla mitattuna mitraalisiinäänvirtaus on kiihtynyt ja diastolinen keskigradientti on $> 25 \text{ mmHg}$, vaikka läppäaukon pinta-ala oli harmaasävykuvassa planimetroiden $> 1,0 \text{ cm}^2$.



KUVA 7. Trikuspidaaliläppävuodon arviointi. Muokattu lähteestä 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. Lyhenteet: TR = trikuspidaaliläppän vuoto, EROA = vuotoaukon pinta-ala, CW = jatkuva-aaltainen doppler, RVol = vuototilavuus, RF = vuoto-osuus, MK = sydämen magneettitutkimus, RVEF = oikean kammion systolinen funktio, RVESDVI = oikean kammion loppudiasistolinen tilavuus indeksoituna, RVESVI = oikean kammion loppusystolinen tilavuus indeksoituna, mPAP = keskipulmonaalipaine, CIED = tahdistimen systeemi, FAC = fractional area change, FWS = oikean kammion vapaaseinämän strain, GLS = global longitudinal strain.

teytys tukevat vaikeusasteen varmistamista. Vastaavasti mitraalivuoto voi peittää vasemman kammion systolisen toimintahäiriön varhaista ilmenemistä, koska kokonaiskutilavuus voi säilyä kompensointivuoksi.

Aorttaläppän ahtaumassa mitraalivuoto ja väridopplerilla havaittava vuotosuihku kasvavat suuren jälkikuorman sekä vasemman kammion ja eteisen välisen paine-eron vuoksi. Mitraalivuodon kvantitatiivinen mittaus PISA-menetelmällä antaa kuitenkin totuudenmukaisen kuvan mitraalivuodon vaikeusasteesta (1, 28).

Kun sekä aortta- että mitraaliläppä vuotavat, useimmat vuotojen mittarit (PISA, vena contracta) ovat edelleen käytökelpoisia, mutta iskuilavuuksiin perustuvat dopplerjohtopäätökset voivat vääristyä. Lisäksi mitraalivuoto voi vaikuttaa aorttavuodon paineen puoliintumisaikaan, jolloin tämä mittari ei kuvaa luotettavasti aorttavuodon vaikeutta. Epäselvissä tilanteissa MK voi auttaa sekä aorttavuodon että mitraalivuodon kvantifoinnissa ja kokonaiskuormituksen arvioinnissa. Kokonaisuuden vaarana on hoidon viivästyminen (1), mikä vuoksi oireiden, kuormitusmuutosten ja vuotomittareiden

epäsuhdassa tulee käyttää täydentäviä menetelmiä (strain, MK, rasiuskoe) matalalla kynnyksellä.

Trikuspidaaliläppävikä

Trikuspidaalivuoto (TR)

Trikuspidaalivuoto on yleinen TTE-löydös, ja vähäinen vuoto on useimmiten hyvänlaatuinen. Sen sijaan kohtalainen tai sitä suurempi vuoto liittyy lisääntyneeseen kuolleisuuden ja sydämen vajaatoiminnan riskiin riippumatta liitännäissairauksista (1).

Valtaosa trikuspidaalivuodoista on sekundaarisia. Mekanismi liittyy annuluslaajentumaan ja/tai lehtien apikaaliseen vetäytymiseen (*tethering*) joko oikean eteisen laajentumisen (eteisperäinen TR, tyypillisesti pitkäaikainen eteisvärinä) tai oikean kammion dilataation ja toimintahäiriön (kammiopeperäinen TR; pulmonaalihypertensio, vasemman puolen sydänsairaus, oikean kammion kardiomyopatia) seurauksena. Fenotyytit voivat limittyä, joten varhainen mekanismin määrittely tukee ennuste- ja ajoitusarviota. Primaarinen trikuspidaalivuoto



TAULUKKO 2. Kombinoitujen läppäviat.

Muokattu lähteestä 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease.

Samanaikainen läppävika	Arvioitava: AS	Arvioitava: AR	Arvioitava: MS	Arvioitava: MR
AS	—	PHT epäluotettava. LV-tilavuuden kasvu vähäisempi (hypertrofia, suhteeton diastolinen LV-paineakuormitus).	PHT epäluotettava (LV-komplianssi ↓). Matala gradientti mahdollinen (low-flow-tila).	Regurgitaatiotilavuus ↑. MR-vuotojettin pinta-ala ↑ (jälkikuorma ↑, transmitraalinen systolinen gradientti ↑). AS gradientti voi laskea.
AR	Bernoullin yhtälö voi yliarvioida gradientin, jos LVOT-nopeus ↑. Kuitenkin heijastaa LV-kuormitusta.	—	PHT epäluotettava (gradientti ↓, LV-komplianssi muuttunut). MVA jatkuvuusyhtälöllä (aortan eteenpäinvirtaus) epäluotettava.	Doppler-volyymimenetelmä (nettoaorttavirtaus) epäluotettava. Mitraali-aortta-VTI-suhde epäluotettava.
MS	Low-flow low-gradient mahdollinen (low-flow-tila).	LV-tilavuuden kasvu vähäisempi (esikuorma ↓).	—	Mitraali-aortta-VTI-suhde epäluotettava (mitraali-VTI ↑). Kalkkeumat voivat varjostaa suihkun pinta-alaa.
MR	Low-flow low-gradient mahdollinen (MR:n aiheuttama low-flow). AS voi suurentaa MR-vuotojettia.	PHT epäluotettava (LV-komplianssi muuttunut). Doppler-volyymimenetelmä epäluotettava.	PHT epäluotettava (LA- ja LV-komplianssi muuttunut). Jatkuvuusyhtälö epäluotettava.	—
TR	Low-flow low-gradient mahdollinen (TR:n aiheuttama low-flow-tilannetta).	—	Matala gradientti mahdollinen. PHT voi olla epäluotettava (kammioiden keskinäinen riippuvuus).	Vuototilavuuden aliarviointi mahdollinen sekundaarisessa MR:ssä (esikuorma ↓).
Luotettavat ekokardiografiset mittarit	AVA, VTI. Kombinoitu vika AR+AS: Vmax ja keskigradieni kuvaavat yhdistettyä kuormitusta.	EROA (PISA), vena contracta	Planimetria ja 3D-MVA (TEE). Kombinoitu vika MR+MS: keskigradieni kuvaa yhdistettyä kuormitusta.	EROA (PISA), vena contracta.
Vaihtoehtoinen kuvantaminen	TT – aorttaläpän kalkki-score	TT – aorttaläpän kalkki-score	—	MK – vuototilavuus ja -osuus

Lyhenteet: AS = aorttaläpän stenoosi; AR = aorttaläpän vuoto; MS = mitraaliläpän stenoosi; MR = mitraaliläpän vuoto; TR = trikuspidaaliläpän vuoto; LV = vasen kammio; LVOT = vasemman kammion ulosvirtauskanava; AVA aorttaläpän pinta-ala; VTI = doppler-virtausnopeusindeksi; PHT = paineen puoliintumisaika vuotosuihkussa; EROA = vuotoaukon pinta-ala; PISA = proksimaalinen isonopeuspinta-ala; MVA = mitraaliläpän pinta-ala; TEE = transesofageaalinen kaikukardiografia; MK = sydämen magneettitutkimus

vuoto on harvinaisempi ja liittyy esimerkiksi endokardiittiin, reumaattiseen tautiin, karsinoidiin tai traumaan. Tahdistimen ja iskutahdistimen (ICD) elektrodeihin liittyvä vuoto on oma kokonaisuutensa: diagnostinen tavoite on erottaa elektrodiin suoraan liittyvä mekanismi pelkästä assosiaatiosta (kuva 7) (1).

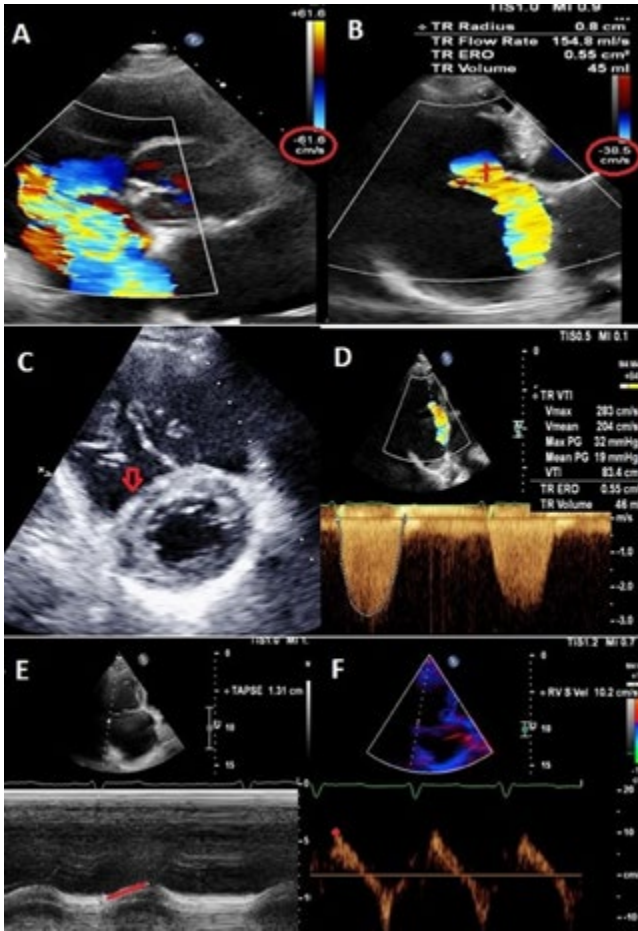
TTE:llä arvioidaan (kuva 8) läppävian mekanismi (annuluksen laajentuminen, *tethering*, lehtien liike, mahdollinen elektrodi-interaktio) sekä integroidusti vaikeusaste ja seuraukset: oikean eteisen ja kammion koko ja toiminta (tarvittaessa 3D ja strain), alaonttolaskimon löydökset ja laskimopainearvio sekä keuhkovaltimopaineet ja vasemman puolen sydänsairaudet. TEE (miehellään 3D) tarvitaan, jos anatomia ei näy TTE:llä tai kun suunnitellaan katetriteitse tehtävää tai kirurgista korjausta. Vaikeassa trikuspidaalivuodossa keuhkovaltimopaine voi aliarvioida ultraäänitutkimuksessa, ja toimenpide-ehdokkailla invasiivinen hemodynamiikan tutkiminen onkin usein perusteltu. Vuodon vaikeusaste tulisi arvioida euvoleemisessa tilassa integroidulla lähestymistavalla (2).

Oikean kammion tarkka koko- ja toiminta-arvio voi edellyttää magneettikuvausta, koska RV:n geometria ja kuormitusriippuvuus rajoittavat TTE:n kvantitatiivista tarkkuutta. TT on

keskeinen myös katetritoimenpiteiden suunnittelussa (läppäannulus, laskimoiden anatomia, oikean sepelvaltimon sijainti ja laite-/reititysmitoitus) (2).

Trikuspidaaliläppävuoto vasemmanpuoleisen läppävian yhteydessä

Vasemman puolen läppäviat, erityisesti mitraaliläppävika ja pitkälle edennyt aorttaläppävika, voivat nostaa vasemman eteisen paineita ja aiheuttaa postkapillaarista pulmonaalihypertensiota (taulukko 2) (1). Tämä lisää oikean kammion jälkikuormaa ja voi johtaa sekundaariseen trikuspidaalivuotoon. Kuvantamisessa keskeistä on erottaa, onko trikuspidaalivuoto pääasiassa jälkikuormituksen välittämää kammioperäistä vuotoa vai eteisperäistä vuotoa, jossa eteisvärinä ja oikean eteisen/annuluksen laajentuma korostuvat (30, 31). Jaottelu on kliinisesti tärkeä, koska hoidon kohdentaminen (vasemman puolen vian korjaus, rytmihäiriön hoito, TR-intervention ajoitus) riippuu dominoivasta mekanismista ja RV-remodelaation vaiheesta. Invasiivinen hemodynamiikkatutkimus auttaa erottelemaan post- ja prekapillaarisen pulmonaalihypertension ja arvioimaan keuhkoverisuonivastusta.



KUVA 8. Trikuspidaaliläppävuoto TTE-tutkimuksessa. Trikuspidaalivuoto lyhytakselikuvasta (A) ja nelilokerokuvasta (B). Punaisella viivalla on merkitty vena contracta (vasemmalla) ja PISA (oikealla). Huomaa Nyquist-raja, joka on rajattu punaisella ympyrällä. (C) Oikean kammion laajenema ja kammioväliseinän oikomista volyymin kuormitukseen liittyen. (D) Vuotoaukon pinta-ala ja vuototilavuus. (E) TAPSE eli trikuspidaaliläppäänuloksen pitkäaikainen liikkuvuus systolessa alentunut. (F) Kudodopplerilla arvioitu huippusystolinen nopeus trikuspidaalirenkaalla.

Läppäsairauksien arvioinnin kulmakivi on edelleen huolellinen sydämen ultraäänitutkimus. Magneetti- ja tietokonetomografiatutkimukset täydentävät arviointia erityisesti rajatapauksissa, kammioiden kuormitusvaikutusten tarkassa määrittämisessä sekä toimenpidesuunnittelussa.

Trikuspidaalistenoosi (TS)

Trikuspidaalistenoosi on harvinainen ja liittyy useimmiten synnynnäisiin sairauksiin, karsinoidisairauteen tai reumaattiseen sydänsairauteen osana moniläppäsairautta (1). Diagnostiikka perustuu sydämen ultraäänitutkimukseen ja läppälehtien sekä subvalvulaarisen aparatin anatomian arviointiin. Keskimääräinen gradientti yli 5 mmHg normaalilla syketaajuudella viittaa vaikeaan stenoosiin. Reumaattisessa sairaudessa stenoosi esiintyy usein yhdessä vuodon kanssa, mikä rajoittaa palloläppäplastian käyttöä.

Yhteenveto

Läppäsairauksien arvioinnin kulmakivi on edelleen huolellinen sydämen ultraäänitutkimus. Magneetti- ja tietokonetomografiatutkimukset täydentävät arviointia erityisesti rajatapauksissa, kammioiden kuormitusvaikutusten tarkassa määrittämisessä sekä toimenpidesuunnittelussa. Keskeistä on läppävian mekanismin tunnistaminen, vaikeusasteen luotettava kvantifiointi sekä kuormitusketjun vaikutusten arviointi kammioihin, eteisiin ja keuhkoverenkiertoon. Näin kuvantaminen tukee oikea-aikaista ja potilaskohtaista hoitoa. ■

Artikkelissa esitetyt kuvat ovat kirjoittajien arkistoista

Viitteet:

1. Praz F, Borger MA, Lanz J, ym.; ESC/EACTS Scientific Document Group. 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*. 2025 Nov 21;46(44):4635–4736.
2. Lancellotti P, Pibarot P, Chambers J, ym. Multi-modality imaging assessment of native valvular regurgitation: an EACVI and ESC council of valvular heart disease position paper. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022; 23:171–232.
3. Myerson S. CMR in evaluation of valvular heart disease: diagnosis, severity and outcomes. *JACC: Cardiovascular imaging*. 2021;14, 10, 2020–2032.
4. Ranard LS, Bonow RO, Nishimura R ym. Imaging methods for evaluation of chronic aortic regurgitation in adults: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*. 2023;82(20):1953–1966
5. Siani A, Perone F, Costantini P ym. Aortic regurgitation: A multimodality approach. *J Clin Ultrasound*. 2022; 50:1041–1050
6. Brandt R, Choi Y-H, Enriquez-Sarano M. Chronic aortic regurgitation: diagnosis and therapy in the modern era. *e-Journal of Cardiology Practice*. European Society of Cardiology Journals. 2020;18(22)
7. Ferrer-Sistach E, Teis A, Escabia C ym. Assessment of the severity of aortic regurgitation by noninvasive imaging. *Curr Cardiol Rep*. 2024; 26:1–14
8. Lancellotti P, Cosyns B, toim. The EACVI Echo Handbook. United States of America: Oxford University Press; 2016. s. 244–263
9. Kim MR, Shaikh T, Taylor S ym. Global longitudinal strain as a prognostic biomarker for asymptomatic moderate to severe aortic regurgitation with preserved ejection fraction: a systematic review and meta-analysis. *J Clin Med*. 2025;14(18):6534



10. Martin MP, Descalzo LD, Vilades Medel MD ym. Capability of CT aortic regurgitant orifice to predict aortic regurgitation severity with cardiovascular magnetic resonance as reference. *Eur Heart J*. 2022;43(Suppl_2): ehac544.239
11. Doris MK, Everett RJ, Shun-Shin M ym. The role of imaging in measuring disease progression and assessing novel therapies in aortic stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12(1):185–197
12. Poniros A, Nevin K, Tang GHL ym. How to scan patients with severe aortic stenosis. *JACC Case Rep*. 2025;30(21):1044–1052
13. Dweck MR, Loganath K, Bing R ym. Multi-modality imaging in aortic stenosis: an EACVI clinical consensus document. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023; 24:1430–1443.
14. Unger P et al. *European Heart Journal* (2025) 46, 2261–2274
15. Unger P, Powers A, Nezet L, ym. Prevalence and outcomes of patients with discordant high-gradient aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol* 2024;83:1109–19
16. Egbe AC, Luis SA, Padang R, ym. Outcomes in moderate mixed aortic valve
17. Kong WKF, Vollema EM, Prevedello F, ym. Prognostic implications of left ventricular global longitudinal strain in patients with bicuspid aortic valve disease and preserved left ventricular ejection fraction. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2020; 21:759–67
18. Zoghbi W., Adams D, Bonow R, ym. Recommendations for noninvasive evaluation of native valvular regurgitation, ASE/SCMR guidelines and standards, *J Am Society Echocardiography*, vol 30, N 4, 2017.
19. Hagendorff A., Knebel F, Helfen A., ym. Echocardiographic assessment of mitral regurgitation: discussion of practical and methodologic aspects of severity quantification to improve diagnostic conclusiveness. *Clin Res Cardiol*. 2021. Apr 11; 110 (11): 1704–1733.
20. Robinson Sh, Ring L, Augustine D., ym. The assessment of mitral valve disease: a guide from the British Society of Echocardiography. *Echo Res Pract*. 2021, May 27; 8 (1): G87-136.
21. Marchetti D, Lenarda F, Paolisso P, ym. Contemporary echocardiographic evaluation of mitral regurgitation and guidance for percutaneous mitral valve repair. *J Clin Med* 2023, 12 (22), 7121.
22. Riebel C., Orzan R., Negru A, ym. The role of GLS in the follow-up of asymptomatic patients with chronic primary mitral regurgitation. *J Clin Med*, 2024, Sep 7; 13 (7): 5304
23. Sköldborg V., Madsen P.L., Dalsgaard M., ym. Quantification of mitral valve regurgitation by 2 D and 3D echocardiography compared with CMR, a systematic review and meta-analysis. *Int J Cardiovascular Imaging*, 2020; 36 (2): 279-289.
24. Baessato F, Fusini L., Muratori M., ym. Echocardiography vs CMR in the quantification of chronic mitral regurgitation. *J Cardiovasc Dev Dis*, 10 (4), 150
25. Andell P, Li X, Martinsson A, ym. Epidemiology of valvular heart disease in a Swedish nationwide hospital-based register study. *Heart*. 2017 Nov;103(21):1696–1703.
26. Unger P, Pibarot P, Tribouilloy C, Lancellotti P, ym. European Society of Cardiology Council on Valvular Heart Disease. Multiple and Mixed Valvular Heart Diseases. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2018 Aug;11(8):e007862.
27. Yang LT, Enriquez-Sarano M, Scott CG, ym. Concomitant Mitral Regurgitation in Patients with Chronic Aortic Regurgitation. *J Am Coll Cardiol*. 2020 Jul 21;76(3):233–246.
28. Unger P, Rosenhek R, Dedobbeleer C, ym. Management of multiple valve disease. *Heart*. 2011 Feb;97(4):272-7
29. Nombela-Franco L, Ribeiro HB, Urena M, ym. Significant mitral regurgitation left untreated at the time of aortic valve replacement: a comprehensive review of a frequent entity in the transcatheter aortic valve replacement era. *J Am Coll Cardiol*. 2014 Jun 24;63(24):2643–58.
30. Buffle E, Marchi S., Mousseaux E, ym. Evaluation of tricuspid regurgitation by CMR and comparison with echocardiography: a systematic review. *Int J Cardiovasc Imaging* 2025, 41 (10):1865–1879.
31. Doldi Ph, Weckbach L, Fink N, ym. 3D echocardiographic and CMR imaging for assessment of right ventricular function and tricuspid regurgitation severity. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2025; 18(4): e017638.

Sidonnaisuudet:

- Olga Horosh: luentopalkkiot (SKS, Pfizer, BMS).
- Kadri Joosti: luentopalkkiot (SKS)
- Jarkko Piihola: luento- tai konsultointipalkkio (Medtronic, Boston Scientific, Edwards Lifesciences, Cardirad), tukea koulutuksiin (Medtronic).
- Antti Saraste: luento- tai konsulttipalkkio (Abbott, Astra Zeneca, Bayer, BMS, Novo Nordisk, Pfizer)

Ilmoitus

Sydämen inflammaation kuvantaminen

Suvi Hartikainen, LT, kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäri, Kys Kuvantamiskeskus

Riitta Paakkanen, kardiologian dosentti, LT, Hus Uusi lastensairaala

Jukka Lehtonen, kardiologian dosentti, LT, Hus Sydän- ja keuhkokeskus

Valteri Uusitalo, Apul. Prof., YL, Hus kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede, Helsingin yliopisto

Miia Holmström, radiologian dosentti, Radiologia Hus Diagnostiikkakeskus, Helsingin yliopisto

Pauli Pöyhönen, kardiologian dosentti, LT, DI, Hus Sydän- ja keuhkokeskus, Suomen molekyyli­lääketieteen instituutti (FIMM), Helsingin yliopisto.

Tiivistelmä

Myokardiittia, perikardiittia ja niiden eri yhdistelmiä voidaan kutsua yhteisesti tulehdukselliseksi myoperikardiaaliseksi oireyhtymäksi. Varhainen diagnostiikka on tärkeää, koska oikea-aikainen hoito voi tietyissä spesifeissä taudeissa parantaa ennustetta. Multimodaalinen kuvantaminen, etenkin sydämen magneettikuvaus (MK) ja fluorodeoksiglukoosia hyödyntävä positroniemissio- ja tietokonetomografia (FDG-PET-TT), ovat mahdollistaneet tarkemman diagnostiikan ja yksilöllisemmän hoidon. MK on myokardiitin ja tulehduksellisen sydänlihassairauden ensisijainen noninvasiivinen tutkimus: se mahdollistaa kudoksetarkastuksen, aktiivisen tulehduksen ja arven erottelun sekä jälkitechostuman jakautumisen perustuvan erotusdiagnoosiin. FDG-PET-TT täydentää MK:ta osoittamalla sarkoidoosiin liittyvän granulomaatoittisen tulehduksen aktiivisuuden. Sydänlihaskiitos on edelleen korvaamaton rooli korkean riskin potilailla, joilla histologinen diagnoosi muuttaa hoitoa. Tässä katsauksessa käsitellään inflammaation roolia myös tietyissä kardiomyopatioissa sekä sepelvaltimotaudissa.

Johdanto

”45-vuotias nainen tulee päivystykseen synkopen jälkeen. EKG:ssä todetaan täydellinen AV-katkos; sepelvaltimot ovat normaalit. Taustalla ei ole tunnettua sydänsairautta.” Tämän-

kaltainen esitystapa on klassinen esimerkki tilanteesta, jossa inflammatorinen sydänsairaus – erityisesti sydänsarkoidoosi tai jättisolomyokardiitti – on keskeinen erotusdiagnoosin vaihtoehto ja oikean diagnoosin löytäminen voi pelastaa potilaan hengen. Kuvantaminen on näissä tilanteissa avainasemassa. Myokardiitti, perikardiitti ja sydänsarkoidoosi eroavat toisistaan sekä kliiniseltä kavaltaan, ennusteeltaan että hoitolinjaltaan, ja kuvantamisen menetelmän valinta on erilainen kussakin tilanteessa (1). Inflammaatiolla on rooli myös tietyissä kardiomyopatioissa ja sepelvaltimotaudissa. Tässä katsauksessa käsittelemme inflammaation kuvantamista eri menetelmillä sekä tärkeimpien inflammatoristen sydänsairauksien diagnostiikkaa (taulukko 1). Endokardiitti rajautuu katsauksen ulkopuolelle. Kuvantaminen on inflammaation arvioinnissa ennemminkin kokonaisvaltainen arvio, ei yksittäinen tutkimus.

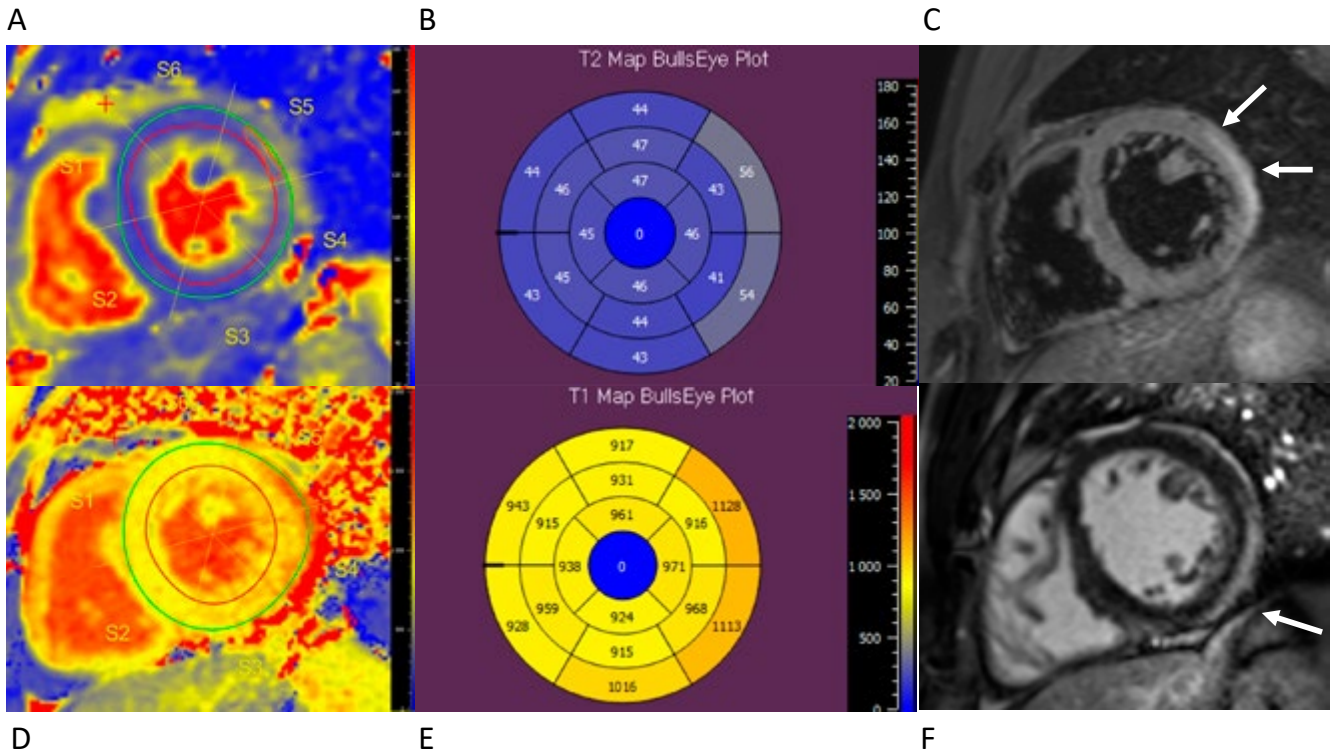
Eri menetelmien rooli inflammaation arvioinnissa

Sydämen ultraäänitutkimus

Sydämen transtorakaalinen ultraäänitutkimus antaa nopeasti tietoa sydämen rakenteesta ja toiminnasta, kuten vasemman kammion ejektiofraktiosta (LVEF, liikehäiriöt), perikardiumeffuusiosta, seinämien turvotuksesta (akuutti tulehdus) tai ohentumasta (arpeuma kroonisessa tulehduksessa) (taulukko 1). Mikään näistä havainnoista ei ole kuitenkaan spesifinen inflammaatiolle, joten usein tarvitaan jatkotutkimuksia. Sillä voidaan

Taulukko 1. Eri kuvantamismodaliteetit ja inflammaatio

Modaliteetti	Ödeema	Arpi/soluvaurio	Muu
UÄ	Paksuuntuma ja hypokinesia	Ohentuma ja liikehäiriö	Strain-kuvantaminen voi havaita subkliinisen vajaatoiminnan.
TT	Perikardium voi tehostua varjoaineella	Sydänlihaksen ohentuma	Perikoraanirasvan inflammaatiota voidaan arvioida.
MRI	Paksuuntuma, hypokinesia, kohonnut T2 ja kohonnut T1	Ohentuma, jälkitechostuma, kohonnut T1 sekä ECV	Strain-kuvantaminen kuten yllä. Mikrosirkulaation häiriö voidaan nähdä lepoerfuusiassa.
PET			FDG - makrofagit, ateroskleroosi. Uudet merkkiaineet folaattireseptori ja fibroblastireseptori.



KUVA 1. Akuutti virusmyokardiitti. 34-vuotias perusterve mies, jolla on ollut viikon ajan flunssaa ja rintakipua; troponiini I 12 000, EKG:ssä muutoksia ala- ja lateraaliseinämissä. Magneettikuvauksessa T2-kartassa (A–B) basaalisessa lateraaliseinämissä on akuuttia ödeemaa (T2-relaksaatioaika > 52 ms). Vastaavasti nesteherkässä T2stir-kuvassa (C) nähdään kirkasta ödeemaa (nuolet). T1-kartassa (D–E) on lateraaliseinämissä relaksaatioaikojen kohoamista (> 1 000 ms). Jälkitechostumakuvassa (F) lateraaliseinämissä on subepikardiaalista jälkitechostumaa (nuoli).

myös todeta muutoksia sydämen täyttymisessä – sekä restriktiivisestä että konstriktiivisestä fysiologiasta. Vasemman kammion globaali pitkittäinen muovautuminen (GLS, *global longitudinal strain*) voi olla poikkeava, vaikka globaali LVEF olisi vielä normaali (2). Vakavimmissa tautimuodoissa ultraäänitutkimuksella voidaan seurata tarvittaessa myös päivittäin sydämen toimintaa ja diagnosoida tamponaatio välittömästi.

Sydämen magneettikuvaus

MK on ensisijainen tutkimus epäiltäessä myokardiittia tai tulehduksellista sydänlihassairautta; se on myös ainoa noninvasiivinen menetelmä, joka mahdollistaa kudostarkastuksen. Akuutti myokardiitti voidaan diagnosoida magneettikuvauksella, eikä usein tarvita jatkotutkimuksia, jos sepelvaltimotauti on suljettu pois (kuva 1, taulukot 2 ja 3). Magneettikuvauksella voidaan tunnistaa kolme keskeistä patologista muutosta: 1) ödeema eli kudosturvotus, joka kertoo aktiivisesta tulehduksesta tai akuuttista vauriosta, 2) fibroosi ja arpi, jotka kuvastavat kroonista tai jo parantunutta vauriota, sekä 3) rakenteelliset muutokset, kuten seinämän ohentuma tai aneurysma, jotka näkyvät kinesekvenssissä seinämäliikkeen ja -paksuuden poikkeavuutena. T1- ja T2-mapping-relaksaatioajat nousevat ödeeman ja nekroosin yhteydessä. Solunulkoinen tilavuus (ECV, extracellular volume) lasketaan T1-ajasta ennen tehosteaineen antamista ja sen jälkeen, ja se kuvaa diffuusia fibroosia. Jälkitechostuma (LGE, *late gadolinium enhancement*) osoittaa fokaalisen nekroosin tai arven, ja sen sijainti on diagnostisesti ratkaisevan tärkeä. LGE-jakauma on eri taudeissa tunnusomainen: myokardiitissa tehostuma on tyypillisesti subepikardiaa-

linen tai midmyokardiaalinen, useimmin lateraaliseinämissä, eikä koskaan puhtaasti subendokardiaalinen – tämä erottaa sen luotettavasti iskeemisestä vauriosta. Iskeemisessä kardiomyopatiassa LGE on subendokardiaalinen tai transmuraalinen suonitusalueiden mukainen. Sydänsarkoidoosissa tehostuma on tyypillisesti basaalseptaalinen, multifokaalinen tai subepikardiaalisesti oikean kammion vapaan seinämän alueella. Amyloidoosissa LGE on diffuusi ja subendokardiaalinen ja nolakuvaa on vaikea optimoida. DSP-kardiomyopatialle on ominaista laaja, puolikaarimainen subepikardiaalinen tehostuma. Magneettikuvauksen diagnostinen herkkyys on paras akuutissa vaiheessa (alle 2 viikkoa oireiden alusta) (taulukko 2) (1,3).

Sydämen tietokonetomografia

Sydämen tietokonetomografialla (TT) on myokardiitin/tulehduksellisen sydänlihassairauden epäilyn diagnostiikassa kolme keskeistä indikaatiota. Näistä ensimmäinen on sepelvaltimotaudin poissulku: akuutissakin taudinkuvassa sepelvaltimotauti voidaan sulkea pois TT-kuvauksella potilailla, joilla

Kuvantaminen on inflammaation arvioinnissa ennemminkin kokonaisvaltainen arvio, ei yksittäinen tutkimus.



Taulukko 2. Myokardiitin ja perikardiitin diagnostiset kriteerit perustuen magneettikuvaukseen. Mukailtu lähteestä Schelz-Menger ym. (1)

Pääkriteeri	Menetelmä	Sydänlihas	Sydänpussi
T2-kriteeri (ödeema)	T2-painotteinen kuvaus T2-mapping	Ödeema	Ödeema
T1-kriteeri (vaurio)	T1-mapping ECV (<i>extra-cellular volume</i>) Jälkitechostuma LGE, (<i>late gadolinium enhancement</i>)	Ödeema, diffuusi fibroosi Fokaalinen nekroosi tai fibroosi/arpi	Ödeema/diffuusi fibroosi Perikardiaalinen tulehdus (ml. neovaskularisaatio) tai arpi

Tukevat löydökset

Rakenne ja liike	Kinekuvaus	Toiminnallinen poikkeavuus	Effuusion laajuus, sijainti ja vaikutus
------------------	------------	----------------------------	---

Myokardiitin ”Updated Lake Louis” -magneetikriteerit:

2/2 pääkriteeriä (varma), 1/2 pääkriteeriä (epäselvä), 0/2 pääkriteeriä (hylätty)

Myokardiitin diagnostiset kriteerit

Definiitiivinen: kliininen ilmiasu + 2/2 magneetin pääkriteeriä tai positiivinen sydänlihasbiopsia

Mahdollinen: kliininen ilmiasu + vähintään 1 lisäkriteeri (EKG, troponiini, kuvantaminen)

Perikardiitin diagnostiset kriteerit

Kliininen ilmiasu ja vähintään 2 lisäkriteeriä (perikardiaalinen hankausääni, EKG:ssä PR-lasku tai laaja ST-nousu, CRP-nousu, uusi tai paheneva perikardiumeffuusio, tai perikardiaalinen ödeema/LGE (magneetti))

kliininen ennakkotodennäköisyys on kohtalainen, ja tämä on usein ensimmäinen askel ennen MK-tutkimusta. Toinen indikaatio on perikardiumin arviointi: yli 3 mm paksuuntunut perikardium ja kalkkeutumukset näkyvät tarkasti natiivi-TT:ssä, ja TT on ensisijainen menetelmä restriktiivisen perikardiitin diagnostiikassa. Kolmas indikaatio on perikardiumnestepunktion suunnittelu tarvittaessa. On huomattava, että perikardium-neste saattaa yliarvioitua, jos kuvausta ei ole tahdistettu diastoleen (1). Sepelvaltimoiden TT-kuvauksesta kerrotaan tässä numerossa tarkemmin artikkelissa ”Sepelvaltimotaudin kuvantaminen”.

FDG-PET

FDG-PET-TT vastaa kysymykseen, johon MK ei pysty vastaamaan: onko tulehdus aktiivinen juuri nyt. MK osoittaa rakenteellisen vaurion ja arven mutta ei erota aktiivista granulomatoottista tulehdusta vanhasta arpikudoksesta. Tämä erottelu on kliinisesti ratkaisevan tärkeä erityisesti sydänsarkoidoosissa, jossa immunosuppression aloittaminen, jatkaminen ja purkamisen perustuvat pitkälti PET-löydökseen. Menetelmä on muita kuvantamismenetelmiä kalliimpi ja aiheuttaa suuremman säderasituksen (n. 1,5 vuoden taustasäteily) (4), joten sen käyttö edellyttää selkeää indikaatiota. Luotettava kuvaus vaatii myös sydänlihaksen fysiologisen glukoosimetabolian sammuttamisen vähintään kahden vuorokauden ketogeenisellä ruokavaliolla ja vähintään 12 tunnin paastolla – lyhyempi valmistautuminen on osoittautunut riittämättömäksi suurelle osalle potilaista (5,6).

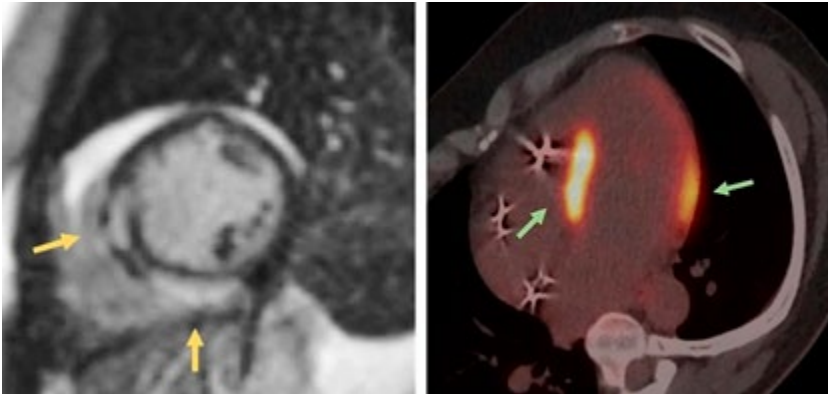
Seuraavassa esitetään FDG-PET-TT:n tärkeimmät indikaatiot inflammatorisissa sydänsairauksissa tärkeysjärjestyksessä. 1) Sydänsarkoidoosi: diagnostiikka, biopsiapaikan ohjaus ja hoidon seuranta; kertymän puutteellinen väheneminen seurannassa on huonon vasteen merkki (7,8). 2) Toistuva tai

epäselvä perikardiitti ennen kalliin monoklonaalisen hoidon aloittamista: PET osoittaa aktiivisen tulehduksen perikardiumissa luotettavasti, ja myös maligniteettiin tai tuberkuloosiin liittyvät perikardiaalisen nesteilyn syyt tunnistetaan. 3) Myokardiitti tai perikardiitti tilanteissa, joissa MK on artefaktinen esimerkiksi rytmihäiriöiden vuoksi (1). 4) Suurten suonten vasculiitti, jossa FDG-PET-TT on vakiintunut diagnostinen menetelmä (kuva 5) (9). On kuitenkin muistettava tämän kuvantamismodaliteetin keskeinen rajoitus: ei-granulomatoottiset tulehdukset, kuten lymfosyyttinen myokardiitti, jäävät useimmiten FDG-negatiivisiksi, eikä negatiivinen FDG-PET-TT sulje pois myokardiittia.

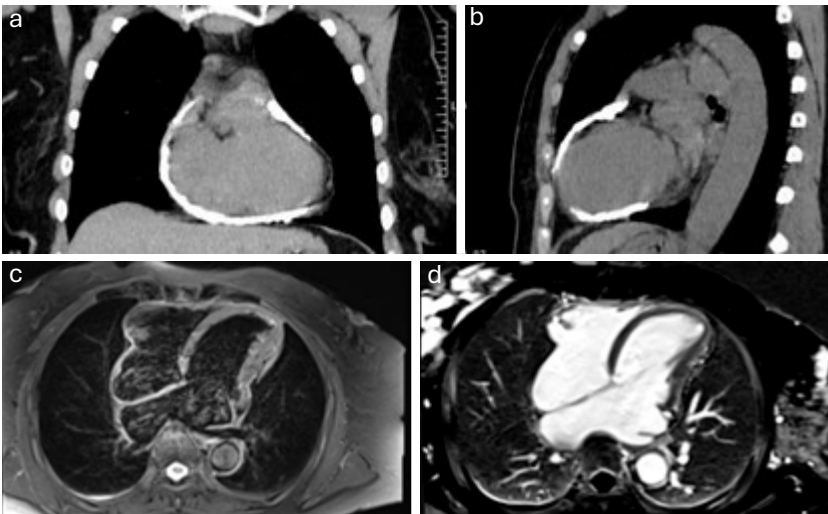
Tulevaisuudennäkymiä

Myös TT-kuvantamiseen on kehitetty inflammaation arvioimiseksi lupaavia uusia menetelmiä, jotka eivät ole vielä kliinisessä käytössä. Perikoronarisen rasvan tiheyden mittaaminen TT:llä mahdollistaa paikallisen verisuonitulehduksen arvioinnin: tulehdus aiheuttaa perikoronarirasvan lipolyysiä, jolloin rasvan tiheys muuttuu mitattavasti (10). Tämä arvo on yhteydessä akuutteihin sydäntapahtumiin (11). Lisäksi ECV voidaan laskea myös TT-kuvista ajoittamalla kuvaus 5–12 minuuttia varjoaineen antamisesta, jolloin kaksiennergialaitteilla päästään hyvin magneettikuvausta vastaaviin arvoihin (12).

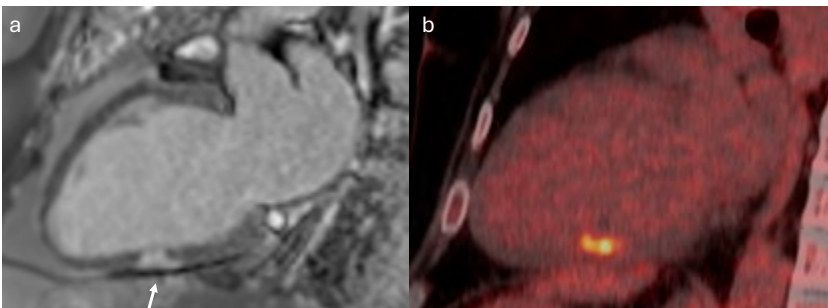
PET-kuvantamisen kehitys on niin ikään nopeaa. Makrofagispesifiset merkkiaineet – kuten Turun PET-keskuksessa kehitetty folaattireseptoriin kohdistuva valmiste – eivät vaadi ketogeenistä ruokavaliota, koska fysiologinen sydänkertymä puuttuu; valmiste on tulossa kliinisiin tutkimuksiin lähivuosina (13). Aktivoituneiden fibroblastien reseptoriin kohdistuvat FAPI-merkkiaineet puolestaan mahdollistavat aktiivisen sydänlihaskuvauksen toteuttamisen ennen merkittävää fibroosimuodostusta ja voivat toimia hoitovastearviona. FAPI-PET:n yleistymistä kar-



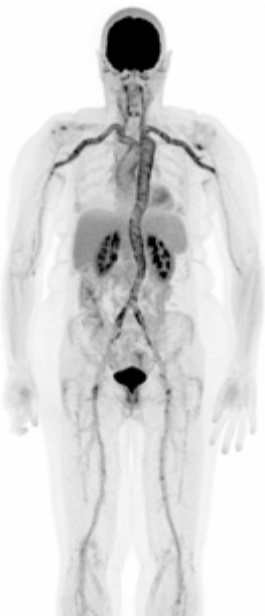
KUVA 2. Tyypillinen sydänsarkoidoosilöydös magneettikuvauksessa (vasemmalla) ja FDG-PET-TT:ssä (oikealla). Lähteestä Sillanmäki ja Iso-Mustajärvi (21), luvalla.



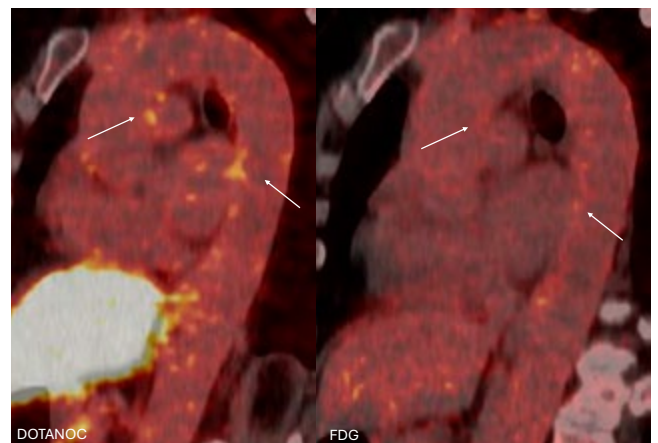
KUVA 3. Kalkkeutunut perikardium erottuu hyvin nativi-TT:ssä (A, B). Magneettikuvauksella voi pyrkiä erottamaan perikardiumin paksuuntumista nativikuvauksella (C) tai jälkitechostumista gadoliniumilla (D). Muokattu lähteestä Jin ym. (14), CC BY 4.0.



KUVA 4. COVID-19-infektioon liittyvä myokardiitti. Sydämen MK-kuvauksessa gadoliniumin jälkeen (A) erottuu jälkitechostuma alaseinässä (nuoli). Vastavalla alueella erottuu aktiiviseen inflammaatioon sopiva kertymä (keltainen) PET-TT-kuvauksessa (B).



KUVA 5. Jättisoluarteriitti PET-TT:ssä. Muokattu lähteestä van der Geest ym. (9), CC BY 4.0. Deed - Attribution 4.0 International - Creative Commons



KUVA 6. Rinta-aortan ateroskleroosiin liittyvää kertymää kahdella eri merkkiaineella tehdyssä PET-TT-kuvauksessa samalla potilaalla. Vasemmalla DOTANOC-PET-TT, oikealla FDG-PET-TT. DOTANOC tarttuu aktivoituneiden makrofagien somatostatiinireseptoreihin, kun taas FDG:llä kuvataan solujen glukoosiainevaihduntaa.

Taulukko 3. Myokardiitin ja perikardiitin kuvantamismenetelmät

Modaliteetti	Kenelle/Milloin?	Milloin ei?	Edut/haitat/muuta
UÄ	Kaikille, alkuvaiheessa ja tarvittaessa seurannassa. Tamponaation tai konstriktion diagnostiikka.	Sopii kaikille näkyvyyden rajoissa.	Edut: kajoamaton, nopea, voi tehdä toistuvasti seurannassa. Osoittaa henkeä uhkaavan tamponaation. Konstriktion hemodynaaminen arvio. Haitat: usein normaali myokardiitissa ja perikardiitissa. Kuiva perikardiitti todetaan 40–50 %:lla (1).
TT	Osalle, perikardiumin kalkkisuuden ja perikardiumnesteen arvio.		Hyvä saatavuus
MK	Myokardiittiepäilyssä kaikille diagnoosia varten. Perikardiittiepäilyssä, jos diagnoosia ei voida tehdä kliinisin perustein. Valikoidusti seurannassa.	Kontra-indikaatio kuvaukselle.	Edut: kajoamaton, ei sisällä ionisoivaa säteilyä. Haitat: ei sovellu raskaana oleville tai munuaisten vaikeassa vajaatoiminnassa. Artefaktit mahdollisia esim. rytmihäiriö- tai tahdistinpotilaalla, tai vakavasti sairailta.
PET-TT (FDG)	Valikoidusti alkuvaiheessa ja seurannassa pääasiassa sarkoidoosissa. Aktiivisen tulehduksen osoitus ja biopsipaikan ohjaus. Löytää hyvin aktiivisen perikardiitin tarvittaessa	Raskaana oleville	Edut: osoittaa aktiivisen tulehduksen. Haitat: epäonnistunut suppressio voi haitata tulkintaa. Ei-granulomatoottiset tulehdukset eivät välttämättä todettavissa
Sepelvaltimoiden angiografia (TT tai invasiivinen)	Osalle alkuvaiheessa (keskisuuri tai suuri sepelvaltimotaudin riski).	Matala riski	Edut: sepelvaltimotauti on yleinen ja tärkeä sulkea pois. Haitat: ei sulje pois samanaikaista myokardiittia.

diologiassa tukee sen vahva asema onkologisessa kuvantamisessa, mikä takaa laajan saatavuuden myös sydänpotilaille (14).

Myokardiitin ja perikardiitin kuvantaminen ja diagnostiikka

Hiljattainen Euroopan kardiologisen seuran (ESC) suositus esitteli uuden käsitteen, IMPS:n (*inflammatory myopericardial syndrome*), joka korostaa myokardiitin ja perikardiitin päällekkäisyyttä, etenkin ennen lopullista diagnoosia (taulukko 2)(1). Kokoavaa käsitettä on perusteltu mm. anatomisesti vierekkäisillä rakenteilla, tulehduksen sekundaarisella leviämällä ja samankaltaisella etiologialla. Multimodaalinen noninvasiivinen kuvantaminen, etenkin sydämen magneettikuvaus, on mahdollistanut tarkentuneen myokardiitin ja perikardiitin diagnostiikan (taulukko 3).

Anamneesi, kliininen tutkimus, EKG, verikokeet (täydellinen verenkuvakuva, CRP, troponiini ja proBNP) sekä keuhkokuva ja sydämen ultraäänitutkimus kuuluvat IMPS-epäilyn alkututkimuksiin. IMPS-diagnostiikka räätälöidään taudin vaikeusas-

Kuvantaminen ei ole tässä taudissa vain diagnostinen väline, vaan se ohjaa aktiivisesti sitä, kenelle tarvitaan biopsia, millainen hoito on tarpeen ja miten seuranta järjestetään.

teen ja riskiarvion mukaan (1). Korkean riskin potilaalla (esim. kardiogeeninen sokki, vaikeat kammioperäiset rytmihäiriöt, distaalinen AV-katko, reagoimattomuus lääkehoitoon, tuore LVEF < 40 % tai laaja jälkitechostuma magneettikuvissa) EMB on aiheellinen epäiltäessä myokardiittia. Perikardiitissa korkeasta riskistä kertovia löydöksiä ovat mm. korkea kuume, konstriktio, heikko vaste lääkehoidolle, laaja sydänpussin effuusio (> 20 mm loppudiasstolessa) tai tamponaatio. Taulukossa 3 on esitetty IMPS:n eri kuvantamismodaliteetit, niiden aiheet sekä hyödyt ja rajoitteet.

Sepelvaltimotaudin riskiarvio tulee tehdä aina IMPS-epäilyssä. Jos sepelvaltimotauti ei yksinään selitä potilaan tilannetta, jatketaan harkinnan mukaan MK-tutkimuksella(1).

Kuvantaminen myokardiitin hoitopäätösten tukena

Myokardiitti on etiologisesti ja kliinisesti heterogeeninen sydänlihastulehdus, jonka ilmentymät vaihtelevat itsestään rajoittuvasta rintakipuoireyhtymästä hengenvaaralliseen fulminanttiin tautiin. Kuvantaminen ei ole tässä taudissa vain diagnostinen väline, vaan se ohjaa aktiivisesti sitä, kenelle tarvitaan biopsia, millainen hoito on tarpeen ja miten seuranta järjestetään (taulukko 3) (1).

Definiitivinen myokardiitin diagnoosi perustuu kliiniseen oirekuvaan (rintakipu tai sydäninfarktin kaltainen oire, rytmihäiriö, sydämen vajaatoiminta, synkopee tai elottomuus) ja positiiviseen löydökseen joko magneettikuvauksessa tai endomyokardiaalisessa sydänlihasbiopsiassa (EMB) (taulukko 2) (1).

Päivitettyjen kriteerien (LLC, *updated Lake Louis Criteria*) mukaan akuutti myokardiitti voidaan diagnosoida magneettikuvauksella, jos sekä myokardiaalisen ödeeman T2-kriteeri että sydänlihaskuvauksen T1- tai jälkitechostumakriteeri täyttyvät

(kuva 1, taulukko 2) (1,3). Myokardiitti on mahdollinen, jos potilaalla todetaan kliinisen ilmiön lisäksi vähintään yksi lisäkriteeri, kuten EKG:n ST-T-muutokset, troponiinin nousu, liikehäiriö tai turvotus/jälkitechostuma magneettikuvissa. Usein potilaalla on ollut hiljattainen hengitystieinfektio tai gastroenteriitti. Joskus harvoin voidaan todeta oireettomia myokardiitteja, esimerkiksi immuno-onkologisiin hoitoihin liittyen.

Alkuarvio: kaikukardiografia ohjaa ensimmäisiä päätöksiä

Akuutissa tilanteessa ensilinjan arvio perustuu EKG:hen, sydänbiomarkkereihin ja kaikukardiografiaan. Kaikukardiografialla tiedot vasemman ja oikean kammion toiminnasta ja perikardiumnesteestä ovat keskeisiä päätöksenteon parametreja. Sen tärkein tehtävä alkuvaiheessa ei ole diagnoosin varmistaminen vaan vaikeusasteen tunnistaminen: se erottaa potilaat, jotka voidaan tutkia noninvasiivisesti, niistä, jotka tarvitsevat invasiivisempaa diagnostiikkaa ja hoitoa.

Sydämen MK: kuduskarakterisointi noninvasiivisesti

Hemodynaamisesti vakaalla potilaalla sydämen magneettikuvaus on keskeinen seuraava askel. MK mahdollistaa sydänlihaksen kuduskarakterisoinnin tavalla, johon mikään muu noninvasiivinen menetelmä ei pysty. MK-löydöksiä on tulkittava osana kokonaiskuvaa. Normaali MK ei sulje pois myokardiittia, ja toisaalta yksittäinen positiivinen löydös ilman kliinistä kontekstia voi johtaa harhaan. MK:n kuduskarakterisointi yhdistettynä kammio toiminnan arvioon ja kliiniseen kuvaan on merkittävämpää (1,3).

MK ei kerro histologista diagnoosia. Jättisolomyokardiitti ja eosinofiilinen myokardiitti – kaksi hoitoa välittömästi muutettavaa erityisluontoa – eivät ole MK:llä luotettavasti erotettavissa lymfosyyttisestä myokardiitista tai toisistaan (1).

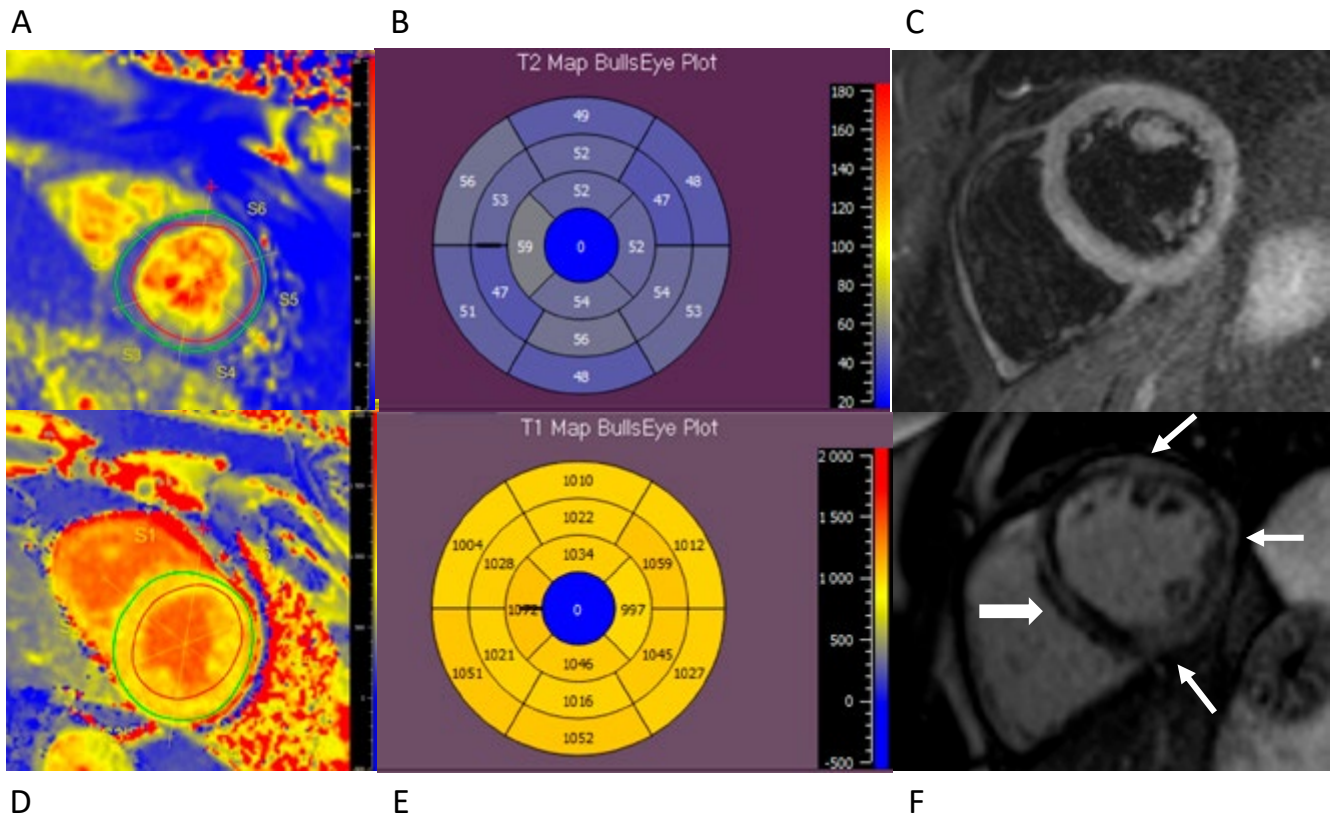
Milloin biopsia on välttämätön?

Sydänlihaskudoksen biopsia ei ole tarpeen kaikissa myokardiiteissa. Sen tärkein tehtävä on tunnistaa ne histologiset alatyypit, joissa diagnoosi muuttaa hoitoa välittömästi. Jättisolomyokardiitti ja nekrotisoiva eosinofiilinen myokardiitti vaativat nopeaa immunosuppressiivista hoitoa, eikä tätä päätöstä voi tehdä turvallisesti pelkän MK:n perusteella.

Käytännössä biopsia on aiheellinen erityisesti kolmessa tilanteessa: nopea tai progressiivinen vajaatoiminta ilman selvää syytä, vaikeat kammiotakykardiat ilman iskeemistä tai rakenteellista selitystä sekä fulminantti tauti, jossa hemodynaamikka on epävakaata. Kuvantaminen ei kilpaile biopsian kanssa vaan auttaa tunnistamaan potilaat, jolle biopsia tulisi tehdä (1).

Fulminantti myokardiitti: kuvantaminen kriisitilanteessa

Fulminantissa myokardiitissa kuvantamisen logiikka on erilainen. Kaikukardiografian rooli korostuu: se arvioi mekaanisen tuen tarvetta, seuraa kammio toimintaa reaaliaikaisesti ja tukee biopsiapäätöstä. MK voi olla teknisesti haastavaa tai kliinisesti mahdotonta toteuttaa akuutissa hemodynaamisessa kriisissä. Tässä ryhmässä hoitopäätökset syntyvät yhdistämällä kliininen tilanne, hemodynaamiset mittaukset ja saatavilla oleva kuvantamistieto, usein tiukassa aikapaineessa.



KUVA 7. Desmoplakiinigeenin (DSP) mutaatiokardiomyopatia. Kyseessä 30-vuotias mies, joka on elvytetty kammiovärinästä. Alkuun korkea troponiini I. Magneettikuvauksessa T2-kartassa ödeema-arvot ovat paikoin poikkeavat (> 52 ms) (A–B), ja nesteherkässä T2-strain-kuvassa (C) on laajalti kirkasta sydänlihäsödeemaa. T1-kartassa myös lähes kauttaaltaan normaalia korkeampia T1-relaksaatioaikoja (D–E). Jälkitechostumakuvassa DSP-mutaatiolle tyypillistä laajaa, puolikaarimaista subepikardiaalista jälkitechostumaa (nuolet) ja septumissa intramyokardiaalista jälkitechostumaa (paksu nuoli).

Taulukko 4. Geenitestauksen rooli myokardiitissa. Muokattu liitteestä (1).

Indikaatio	Luokka	Näytönaste
Toistuvien IMPS-tapausten yhteydessä on suositeltavaa selvittää sukuanamneesi, mukaan lukien sukupuoli, jotta saadaan viitteitä taustalla olevasta etiologiasta, voidaan määrittää periytymismalli ja tunnistaa vaarassa olevat sukulaiset.	I	C
Geenitestausta tulisi harkita potilailla, joilla on varmistettu myokardiitti/perikardiitti seuraavissa tilanteissa: 1) sukuanamneesissa IMPS, perinnöllinen tai epäilty kardiomyopatia 2) vaikea kammiooperäinen rytmihäiriö 3) merkittävä vasemman/oikean kammion LGE (esim. rengasmaainen kuvio tai septaalinen LGE) tai pysyvä vasemman kammion systolinen toimintahäiriö (LVEF) 4) toistuva myokardiitti tai jatkuvasti koholla oleva troponiini 5) toistuva perikardiitti, jossa on inflammatorinen fenotyyppi ja joka on tavanomaiselle hoidolle reagoimaton	IIa	B

Seuranta ja ennuste

Kontrolli-MK kolmen–kuuden kuukauden kuluttua on perusteltua erityisesti potilailla, joilla alkutilanteessa todettiin kammio toiminnan häiriö tai laaja myöhäistehostuma. Seurannassa arvioidaan turvotuksen häviämistä, kammiofunktion toipumista ja arven pysyvyyttä. Myöhäistehostuman laajuus ja sijainti sekä vasemman kammion ejektiofraktio ovat merkittävimpiä kuvantamiseen perustuvia ennustemarkkereita, joilla on merkitystä myös laitehoidon tarpeen arvioinnissa.

Kuvantaminen perikardiitissa

Perikardiitti on kliininen diagnoosi (taulukko 2). Tyypillinen taudinkuva – pleuriittinen rintakipu, perikardiaalinen hankausääni, EKG:n satulamainen ST-nousu ja kohonnut CRP – riittää diagnoosin perustaksi ilman laajaa kuvantamista. Perikardiitti ilman sydänpussin nestekertymää (pericarditis sicca) todetaan noin 40–50 %:lla perikardiittipotilaista (1). Kaikukardiografia kuuluu silti perusarvioon: sen tärkein tehtävä on perikardiumeffuusion tunnistaminen ja tamponaation poissulku, ei diagnoosin vahvistaminen sinänsä.

Milloin kuvantamista tarvitaan enemmän?

Osalla potilaista kliininen tilanne jää epäselväksi: oireet ovat epätyypilliset, perikardiumissa on nestettä mutta perikardiitti ei ole varma tai erotusdiagnoosi vaatii lisätietoa. Tällöin tietokonetomografia tai FDG-PET-TT tuo lisäarvoa. TT soveltuu erityisesti perikardiumin paksuuden arviointiin, kalkkeutumien tunnistamiseen ja anatomisten muutosten kartoittamiseen. FDG-PET-TT puolestaan voi osoittaa aktiivisen tulehduksen perikardiumissa tilanteissa, joissa epäillään systeemisairautta tai uusiutuvaa tautia, mutta kliininen näyttö sen rutiinimaisesta hyödystä perikardiitissa on edelleen rajallinen, eikä se kuulu tavanomaiseen hoitopolkuun (1).

Sydämen MK:lla on diagnostinen rooli erityisesti silloin, kun epäillään samanaikaista myokardiittia eli myo-perikardiittia (taulukko 3). MK:n jälkitechostuma voi paljastaa myokardiumin osallistumisen tilanteessa, jossa kliininen kuva on pelkästään perikardiaalinen. Tämä on käytännössä tärkein yksittäinen indikaatio MK:lle perikardiitissa. Tulehtunut perikardium erottuu TT:ssä paksuuntuneena ja usein kalkkisena, ja kalkkikuorma on helppo mitata EKG-tahdistetusta natiivi-TT:stä (kuva 3). FDG-PET on tarkka aktiivisen perikardiitin toteamisessa. Sen käyttöindikaatiot ovat lähinnä toistuvan pe-

rikardiitin arvioiminen ennen kalliita monoklonaalaisia hoitoja sekä epäselvän kuumeilun diagnostiikka, koska kuumeilun taustalla on ajoittain perikardiitti (1).

Hoidon seurannassa kuvantamisella ei ole vakiintunutta roolia. CRP ja kliininen vaste ovat ensisijaisia seurantamarkkereita, eikä kontrollikuvantaminen kuulu rutiiniin oireettomalla potilaalla.

Konstriktio: erityistilanne

Konstriktiivinen perikardiitti on diagnostisesti ja hoidollisesti oma kokonaisuutensa. Diagnoosi perustuu kliiniseen epäilyyn, thoraxkuvaan ja TT-tutkimukseen. Thoraxkuvassa voidaan nähdä perikardiaalinen kalkkeutuma, ja TT osoittaa perikardiumin paksuuntumisen sekä mahdolliset kalkkeutumaiset tarkasti. Hemodynaamisesti merkittävässä konstriktiossa lopullinen päätöksenteko vaatii usein myös invasiivista painemittausta, mutta TT on keskeinen noninvasiivinen menetelmä (1).

Käytännön näkökulma

Suurin osa perikardiiteista hoidetaan ilman laajaa kuvantamista. Kaikukardiografia riittää useimmiten, ja hoidon kulmakivet eli tulehduskivätkäkkeet ja kolkisiini perustuvat kliiniseen arvioon. Kuvantamisen lisäarvo korostuu epäselvissä tapauksissa, myo-perikardiitin epäilyssä ja konstriktiodiagnostiikassa. PET-TT:n rooli perikardiumin tulehduksen arvioinnissa on toistaiseksi rajattu erityistilanteisiin, kuten systeemisairauksiin tai toistuvaan perikardiittiin, joissa tavanomainen diagnostiikka ei riitä (1).

Kuvantaminen sydänsarkoidoosin hoitopäätösten tukena

Sydänsarkoidoosissa granuloomien muodostuminen sydänlihakseen perustuu poikkeavaan T-soluvälitteiseen immuuni-reaktioon, jonka seurauksena syntyy tulehdussolukertymiä ja vähitellen arpikudosta. Tauti voi ilmetä rytmihäiriönä, johtumishäiriönä tai sydämen vajaatoimintana, ja sen kulku on ennalta arvaamaton. Diagnostisia kriteerejä on useita, eikä niiden paremmuudesta ole kansainvälistä konsensusta (15).

Sydämen MK ja FDG-PET täydentävät toisiaan tavalla, joka on kliinisesti merkityksellinen. MK osoittaa rakenteellisen vaurion: myöhäistehostuma (LGE) esiintyy yli 90 %:ssa tapauksista subepikardiaalisesti, septaalisesti, multifokaalisesti tai oikean kammion vapaassa seinämässä (16). Kammioiden liitoskohtiin

painottuva ja oikean kammion vapaaseen seinämään jatkuvaa tehostumaa – niin kutsuttua *hook-* tai *hug-*merkkiä – on pidetty jopa sarkoidoosin biomarkkerina (17), mutta löydös on yleinen myös jättisolomyokardiitissa, eikä näitä kahta diagnoosia voida erottaa toisistaan luotettavasti MK:lla (18). LGE:n herkkyys sydänsarkoidoosissa on meta-analysitasolla noin 95% ja spesifisyys 85%, mutta spesifisyys on kyseenalaistettu: yhdessä tutkimuksessa vain yhdellä kahdeksasta potilaasta, joilla MK-löydös oli todennäköinen, todettiin eksplantin histologiassa sarkoidoosi (19,20). Sarkoidoosille viitteellinen LGE-jakauma ennustaa kuitenkin hyvin vakavia rytmihäiriöitä sekä ekstrakardiaalisessa sarkoidoosissa että epäilyssä sydänsarkoidoosissa (21), ja vasemman kammion LGE-laajuus diagnosoidussa taudissa on itsenäinen kammioarytmian ennustaja (22).

FDG-PET-TT kuvastaa metabolisesti aktiivisen granulomaatoittisen tulehduksen sijaintia ja laajuutta, ja tätä tietoa MK ei suoraan anna. Tyypillinen löydös on fokaalinen tai multifokaalinen kertymä, usein basaalisessa septumissa, mutta mikä tahansa sijainti on mahdollinen. Oikean kammion affisio PET:ssä on yhdistetty huonompaan ennusteeseen (23). On kuitenkin huomattava, että myös muut myokardiitit – lymfosyyttimyokardiitti, immuno-onkologiseen hoitoon liittyvä myokardiitti, jättisolomyokardiitti ja eosinofiilinen myokardiitti – voivat olla FDG-positiivisia, mikä vaikeuttaa isoloidun sydänsarkoidoosin erotusdiagnoosiikkaa.

Inflammatoriset kardiomyopatiat

Tietyt geneettiset kardiomyopatiat voivat edetä tulehduksellisten, myokardiittityyppisten prosessien kautta. Seuraavassa keskitymme erityisesti desmoplakiini- eli DSP-geenin mutaatioihin, joissa kuvantamislöydöksellä on suora kliininen merkitys (24). ARVC:stä ja inflammatorisista kardiomyopatioista on kirjoitettu erikseen tässä teemanumerossa (kuva 7).

DSP-kardiomyopatian MK-löydös on karakteristinen ja kliinisesti toimintaa ohjaava: laaja, puolikaarimainen, subepikardiaalinen jälkitechostuma, joka eroaa selvästi lymfosyyttisen myokardiitin tyypillisestä fokaalilöydöksestä. Valtaosalla (noin 90%:lla) DSP-kantajista todetaan tämä poikkeava jälkitechostuma riippumatta siitä, onko heillä ollut myokardiittia; vain pienellä osalla (noin 15%:lla) on varsinainen myokardiitti. Tällainen MK-löydös tulisi ohjata geenitestauksen harkintaan, vaikka kliininen kuva sopisi tavalliseen myokardiittiin (25). ESC:n hoitosuosituksen ohjeistavat selvittämään aina toistuvaa myokardiittia sairastavien potilaiden sukuanamneesin kardiomyopatioiden ja äkkikuolemien suhteen (luokka I, näytönaste C) sekä harkitsemaan geenitestausta tietyissä tilanteissa (taulukko 4). Kuvantamisen näkökulmasta keskeinen viesti on, että laajan subepikardiaalisen jälkitechostuman tulisi myokardiititiepisodein yhteydessä aina herättää epäily DSP-kardiomyopatiasta ja ohjata geenitestauksen harkintaan (1,24).

Sepelvaltimotauti ja inflammaatio

Ateroskleroosin inflammatorinen luonne on tunnustettu pitkään (26,27). Kliinisessä työssä tämä tarkoittaa ennen kaikkea jäännöstulehdusriskin (hs-CRP:n) arviointia: kohonnut hs-CRP voi indikoida hyötyä suuremmasta statiiniannoksesta tai anti-inflammatorisesta hoidosta, ja kolkisiinilla on ESC:n hoitosuosituksissa luokan IIa suositus sepelvaltimotaatumien estoon

(28). Kuvantamisen näkökulmasta perikoronarisen rasvan tiheyden TT-mittaus on kiinnostava tutkimustyökalu paikallisen verisuonitulehduksen arvioon (10,11), mutta se ei toistaiseksi kuulu kliiniseen rutiiniin.

Yhteenveto

Inflammaation kuvantaminen on parhaimmillaan integroitu prosessi, jossa kaikukardiografia, MK ja tarvittaessa biopsia täydentävät toisiaan kliinisen päätöksenteon eri vaiheissa. Kuvantamislöydöstä ei tule tulkita irrallaan kliinisestä fenotyypistä: rintakipupainotteisen, vajaatoimintapainotteisen ja fulminantin myokardiitin kuvantamisstrategiat eroavat toisistaan sekä kiireellisyydeltään että painotuksiltaan. Tämä fenotyypipohjainen lähestymistapa on avain siihen, että kuvantaminen ohjaa hoitoa eikä vain dokumentoi sitä. On kuitenkin muistettava, mitä kuvantaminen ei korvaa: vaikeissa ja hoitoa välittömästi muuttavissa tilanteissa, erityisesti jättisolomyokardiitin ja eosinofiilisen myokardiitin epäilyssä, histologinen varmistus on korvaamaton ja kuvantaminen toimii parhaiten sen tukena eikä korvaajana. ■

Viitteet

- Schulz-Menger J, Collini V, Gröschel J, ym. 2025 ESC Guidelines for the management of myocarditis and pericarditis: Developed by the task force for the management of myocarditis and pericarditis of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2025;46(40):3952–4041. doi:10.1093/eurheartj/ehaf192
- Khanna S, Amarasekera A, Li C, ym. The role of echocardiography in the diagnosis of adult patients with myocarditis: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022;23(Supplement_1):jeab289.263. doi:10.1093/ehjci/jeab289.263
- Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, ym. Cardiovascular Magnetic Resonance in Nonischemic Myocardial Inflammation. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018;72(24):3158–3176. doi:10.1016/j.jacc.2018.09.072
- Hartikainen S. FDG-PET-TT inflammatorisissa sydänsairauksissa. *Sydänääni*. 2025;36(2).
- Slart RHJA, Glaudemans AWJM, Gheysens O, ym. Procedural recommendations of cardiac PET/CT imaging: standardization in inflammatory, infective, infiltrative, and innervation (4Is)-related cardiovascular diseases: a joint collaboration of the EACVI and the EANM. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2021;48(4):1016–1039. doi:10.1007/s00259-020-05066-5
- Point-of-care β -hydroxybutyrate measurement predicts adequate glucose metabolism suppression in cardiac FDG-PET/CT - Hartikainen - 2024 - Clinical Physiology and Functional Imaging - Wiley Online Library. Accessed April 1, 2026. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/cpf.12881>
- Sillanmäki S, Iso-Mustajärvi S. 18F-FDG-PET of cardiac sarcoidosis with subcutaneous nodules. *J Nucl Cardiol*. 2023;30(6):2839–2840. doi:10.1007/s12350-023-03302-7
- Tamura T, Takenaka S, Nagai T, ym. Prognostic value of 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography one month after initiation of prednisolone therapy in patients with cardiac sarcoidosis. *International Journal of Cardiology*. 2026;448. doi:10.1016/j.ijcard.2026.134181



9. van der Geest KSM, Gheysens O, Gormsen LC, ym. Advances in PET Imaging of Large Vessel Vasculitis: An Update and Future Trends. *Semin Nucl Med.* 2024;54(5):753–760. doi:10.1053/j.semnuclmed.2024.03.001
10. Antonopoulos AS, Sanna F, Sabharwal N, ym. Detecting human coronary inflammation by imaging perivascular fat. *Sci Transl Med.* 2017;9(398):eaal2658. doi:10.1126/scitranslmed.aal2658
11. Chan K, Wahome E, Tsiachristas A, ym. Inflammatory risk and cardiovascular events in patients without obstructive coronary artery disease: the ORFAN multicentre, longitudinal cohort study. *The Lancet.* 2024;403(10444):2606–2618. doi:10.1016/S0140-6736(24)00596-8
12. Cundari G, Galea N, Mergen V, Alkadhi H, Eberhard M. Myocardial extracellular volume quantification with computed tomography-current status and future outlook. *Insights Imaging.* 2023;14(1):156. doi:10.1186/s13244-023-01506-6
13. Jahandideh A, Uotila S, Stähle M, ym. Folate Receptor β -Targeted PET Imaging of Macrophages in Autoimmune Myocarditis. *J Nucl Med.* 2020;61(11):1643–1649. doi:10.2967/jnumed.119.241356
14. Mori Y, Novruzov E, Schmitt D, ym. Clinical applications of fibroblast activation protein inhibitor positron emission tomography (FAPI-PET). *npj Imaging.* 2024;2(1):48. doi:10.1038/s44303-024-00053-z
15. Lehtonen J, Uusitalo V, Pöyhönen P, Mäyränpää MI, Kupari M. Cardiac sarcoidosis: phenotypes, diagnosis, treatment, and prognosis. *Eur Heart J.* 2023;44(17):1495–1510. doi:10.1093/eurheartj/ehad067
16. Myocardial Involvement in Patients With Histologically Diagnosed Cardiac Sarcoidosis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Gross Pathological Images From Autopsy or Cardiac Transplantation Cases | Journal of the American Heart Association. Accessed April 1, 2026. <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/JAHA.118.011253>
17. Vita T, Okada DR, Veillet-Chowdhury M, ym. Complementary Value of Cardiac Magnetic Resonance Imaging and Positron Emission Tomography/Computed Tomography in the Assessment of Cardiac Sarcoidosis. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2018;11(1):e007030. doi:10.1161/CIRCIMAGING.117.007030
18. Pöyhönen P, Nordenswan HK, Lehtonen J, Syväranta S, Shenoy C, Kupari M. Cardiac magnetic resonance in giant cell myocarditis: a matched comparison with cardiac sarcoidosis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2023;24(4):404–412. doi:10.1093/ehjci/jeac265
19. Aitken M, Chan MV, Urzua Fresno C, ym. Diagnostic Accuracy of Cardiac MRI versus FDG PET for Cardiac Sarcoidosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology.* 2022;304(3):566–579. doi:10.1148/radiol.213170
20. Divakaran S, Stewart GC, Lakdawala NK, ym. Diagnostic Accuracy of Advanced Imaging in Cardiac Sarcoidosis. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2019;12(6):e008975. doi:10.1161/CIRCIMAGING.118.008975
21. Mathijssen H, Bawaskar PH, Rochlani Y, ym. Prediction of ventricular arrhythmic outcomes in suspected cardiac sarcoidosis: a comparison of cardiovascular magnetic resonance phenotyping vs. societal recommendations for implantable cardioverter-defibrillator placement. *Eur Heart J.* 2025;46(36):3583–3596. doi:10.1093/eurheartj/ehaf338
22. Pöyhönen P, Lehtonen J, Syväranta S, ym. Magnetic Resonance Imaging in the Assessment of the Risk of Sudden Death in Cardiac Sarcoidosis: What Is Extensive or Significant Late Gadolinium Enhancement? *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2025;18(1):e013239. doi:10.1161/CIRCEP.124.013239
23. Tuominen H, Haarala A, Tikkakoski A, Kähönen M, Nikus K, Sipilä K. FDG-PET in possible cardiac sarcoidosis: Right ventricular uptake and high total cardiac metabolic activity predict cardiovascular events. *J Nucl Cardiol.* 2021;28(1):199–205. doi:10.1007/s12350-019-01659-2
24. Smith ED, Lakdawala NK, Papoutsidakis N, ym. Desmoplakin Cardiomyopathy, a Fibrotic and Inflammatory Form of Cardiomyopathy Distinct From Typical Dilated or Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy. *Circulation.* 2020;141(23):1872–1884. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.119.044934
25. Monda E, Limongelli G. Is There a Role for Genetic Testing in Patients With Myocarditis? *Circulation: Genomic and Precision Medicine.* 2022;15(5):e003824. doi:10.1161/CIRCGEN.122.003824
26. Libby P, Ridker PM, Hansson GK, Leducq Transatlantic Network on Atherothrombosis. Inflammation in Atherosclerosis. *JACC.* 2009;54(23):2129–2138. doi:10.1016/j.jacc.2009.09.009
27. Mensah GA, Arnold N, Prabhu SD, Ridker PM, Welty FK. Inflammation and Cardiovascular Disease: 2025 ACC Scientific Statement. *JACC.* 2026;87(11):1381–1404. doi:10.1016/j.jacc.2025.08.047
28. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC. 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *European Heart Journal.* 2024;45:3415–3537.

Sidonnaisuudet

- Suvi Hartikainen: luentopalkkiot (Suomen Kardiologinen Seura, Lääketieteellinen Radioisotooppiyhdistys), tukea työnantajan määräämiin ammatillisiin koulutuksiin (GE Healthcare, Pfizer), luottamustoimet (Suomen kliinisen fysiologian yhdistys, puheenjohtaja), apurahat (Suomen Lääketieteen Säätiö, Sydäntutkimussäätiö, KYS tutkimussäätiö, Suomen Kardiologinen Seura, Lääketieteellinen Radioisotooppiyhdistys, Scandinavian Society of Clinical Physiology and Nuclear Medicine, International Congress for Nuclear Cardiology and Cardiac CT)
- Pauli Pöyhönen: luentopalkkiot (Suomen Kardiologinen Seura), luottamustoimet (Husin alueellinen lääketieteellinen tutkimuseettinen toimikunta), apurahat (Suomen Kulttuurirahasto, Sydäntutkimussäätiö, Suomen Akatemia).
- Riitta Paakkanen: luentopalkkio (AstraZeneca, Bristol-Myers Squibb, Novartis Oy, Suomen Kardiologinen Seura, Suomen Radiologiyhdistys, Suomen Pfizer Oy), korvaus koulutustarpeiden tuottamisesta (Bristol-Myers Squibb), työsuhde/luottamustoimi (Lääkärikeskus Aavan kardiologian vastuulääkäri, Suomen Kardiologisen Seuran Kuvantamisjaoston puheenjohtaja, Sydänäänien miniteemanumeron toimittaja, kliinisen säteilykäytön auditoija), apuraha (Juhani Ahon Lääketieteen Tutkimussäätiö, Suomen Kardiologinen Seura, AstraZeneca, Paavo Nurmen säätiö).
- Valtteri Uusitalo: luentopalkkiot (Pfizer), luottamustoimet (EACVI Scientific Documents Committee), apurahat (Sydäntutkimussäätiö)

Rytmihäiriöpotilaan kuvantaminen

Saara Sillanmäki, LT, dos., Kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen erikoislääkäri, Kys ja Itä-Suomen yliopisto
Juhani Junttila, LT, dos., professori, kardiologian erikoislääkäri, Oys (Pohde) ja Oulun yliopisto
Marja Hedman, LT, dos., professori, kardiologian erikoislääkäri, Kys ja Itä-Suomen yliopisto

Tiivistelmä

Rytmihäiriöpotilaan tutkimisessa sydämen kuvantamisella on keskeinen asema rakenteellisten poikkeavuuksien tunnistamisessa, mahdollisten taustasairauksien diagnosoimisessa, riskin arvioinnissa ja hoidon suunnittelussa. Eri kuvantamismenetelmillä, kuten sydämen ultraäänellä, tietokonetomografialla (TT), magneettikuvauksella (MK) ja isotooppikuvantamisella, on oma merkityksensä rytmihäiriöiden etiologian selvittelyssä. Ultraäänitutkimus on ensilinjan menetelmä, jolla voidaan helposti arvioida sydämen rakennetta ja toimintaa. MK:n avulla voidaan paikantaa mm. rytmihäiriön lähteenä toimivia sydänlihaksen rakennepoikkeavuuksia, kuten arpialueita. TT:llä voidaan kartoittaa rytmihäiriön taustalla mahdollisesti oleva sepelvaltimotauti. Erityisen hyvin TT toimii rytmihäiriötoimenpiteiden suunnittelussa. Isotooppikuvantamisella saadaan sydänlihaksen verenkierron kuvantamisen lisäksi tulehduksellisten sydänsairauksien, kuten sydänsarkoidoosin, osoittamisessa tarvittavaa tietoa. Artikkelissa käsitellään eri kuvantamismenetelmien käyttöä, etuja ja rajoituksia rytmihäiriöpotilailla.

Johdanto

Rytmihäiriöt vaihtelevat hyvänlaatuisista lisälyönneistä henkeä uhkaaviin kammiooperäisiin rytmihäiriöihin. Vakavat kammiooperäiset rytmihäiriöt heijastavat usein taustalla olevaa elimellistä sydänsairautta, joka altistaa rytmihäiriöiden uusiutumiselle ja äkilliselle sydänkuolemalle (1). Ultraäänitutkimus on ensisijainen tutkimusmenetelmä rytmihäiriöitä selvittäessä, koska se on laajalti saatavilla ja antaa monipuolisesti tietoa

Ultraäänitutkimus on ensisijainen tutkimusmenetelmä rytmihäiriöitä selvittäessä, koska se on laajalti saatavilla ja antaa monipuolisesti tietoa sydämen anatomiasta ja toiminnasta.

sydämen anatomiasta ja toiminnasta. Jatkokuvantamistutkimukset päätetään kliinisen tilanteen ja ultraäänilöydösten perusteella.

Viime vuosina magneettikuvauksen (MK) merkitys on korostunut, koska sen avulla voidaan tutkia tarkasti sydänlihaksen rakennetta, kuten arpialueita ja diffusia fibroosia, jotka eivät välttämättä tule esiin muilla kuvantamismenetelmillä. MK:ssa havaittavien myöhäistehostumien (LGE, *late gadolinium enhancement*) on osoitettu liittyvän rytmihäiriöriskiin useissa sydänlihassairauksissa (1,2). Sydämen tietokonetomografialla (TT) sen sijaan voidaan arvioida sydämen tarkan anatomian lisäksi mm. sepelvaltimotautia, erityisesti jos epäillään iskeemistä etiologiaa rytmihäiriön taustalla. TT-kuvausta käytetään enenevässä määrin myös rytmihäiriötoimenpiteitä edeltävänä anatomisena tutkimuksena. Isotooppitekniikat tarjoavat tietoa mm. sydänlihaksen verenkierrosta ja elinkelpoisuudesta sekä mahdollisesta tulehduksesta rytmihäiriön taustalla. Seuraavassa käsitellään tarkemmin eri kuvantamistekniikoita sekä rytmihäiriöihin liittyviä tyypillisiä kuvantamislöydöksiä.

Etiologiset selvittelyt

Sydämen ultraäänitutkimus

Rintakehän päältä tehtävä ultraäänikuvaus antaa reaaliaikaisen näkymän sydämen rakenteisiin ja toimintaan ilman ionisoivaa säteilyä. Ultraäänellä voidaan arvioida sydämen koko ja kammioiden tilavuudet, seinämäpaksuudet, supistuvuus (ejektiofraktio) sekä läppäpoikkeavuudet. Tämä on oleellista esimerkiksi eteisvärinäpotilailla, joilla ultraäänitutkimuksella arvioidaan erityisesti vasemman eteisen kokoa, sekä kammiooperäisissä rytmihäiriöissä, joissa pyritään tunnistamaan rytmihäiriön lähde, kuten arpi tai mahdollinen taustalla oleva kardiomyopatia. Ultraäänitutkimuksessa voidaan havaita vasemman kammion seinämien paksuuntuminen ja mahdollinen ulosvirtauskanavan ahtauma sekä laajentuneet kammiot ja alentunut sydämen pumppaustoiminta. Tarvittaessa ruokatorven kautta tehtävä kaikukuvaus (TEE, *transesophageal echocardiography*) täydentää diagnostiikkaa esimerkiksi eteisvärinässä, kun suljetaan pois vasemman eteiskorvakkeen hyytymää ennen rytminsiirtoa. Ultraäänitutkimus ei kuitenkaan aina riitä. Kuvanlaatu on riippuvainen potilaan anatomiasta ja taustasairauksista. Esimerkiksi lihavuus tai rintakehän leikkaukset huonontavat kuvanlaatua. Myös oikean kammion visualisointi on usein haastavaa ultraäänellä. Eteis- ja kammioaryt-





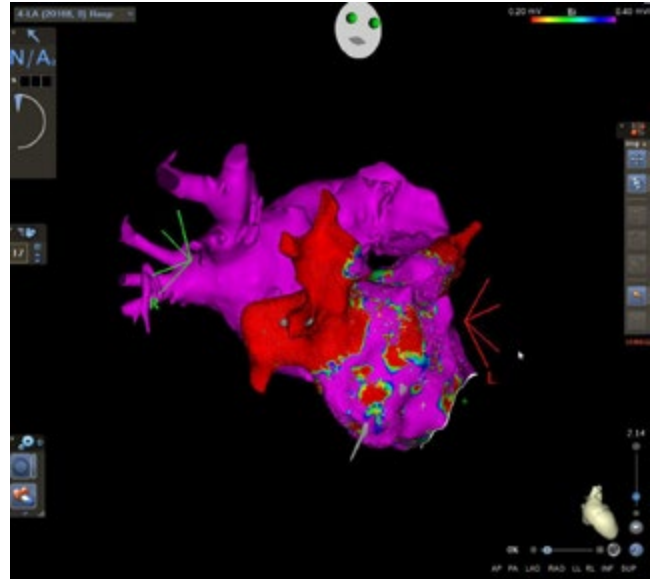
Kuva 1. Keuhkolaskimoiden anatomian tarkka määrittäminen on olennainen osa eteisvärinäablaation suunnittelua. Samalla voidaan sulkea pois mahdolliset sydämen sisäiset hyyttymät. Kuvassa nähdään vasen eteinen ja siihen liittyvät keuhkolaskimot tietokonetomografian 3D-rekonstruktiona.

miat, kuten eteisvärinä tai lisälyönnit, voivat heikentää kuvanlaatua ja mittausten tarkkuutta. Epäsäännöllinen rytmi muun muassa vaikeuttaa tilavuuden ja ejektiofraktion luotettavaa arviointia. Lyöntien väliset vaihtelut heikentävät myös dopplerkuvauksella tehtävien virtausmittausten toistettavuutta. Luotettavien tulosten saamiseksi mittauksissa voidaan käyttää usean lyönnin keskiarvoistusta.

Sydämen tietokonetomografia

Sydämen TT-kuvaus on hyödyllinen menetelmä erityisesti sydämen tarkan anatomian ja sepelvaltimoiden tutkimisessa. TT-kuvantaminen perustuu röntgensäteisiin ja tarjoaa korkean paikkaerotuskyvyn (0,5 mm), jonka ansiosta sydäimestä voidaan nähdä pienetkin rakenteelliset yksityiskohtat. Sydämen tarkka TT-kuvantaminen on mahdollista ajoittamalla kuvaus EKG:n perusteella keskidiastoleen, jolloin sydän on hetken paikoillaan. Kuvaamalla koko sydämen sykli TT-kuvauksella on mahdollista kuvata myös vasemman ja oikean kammion supistustoimintaa ja sydänläppien liikettä.

TT:tä käytetään eteisvärinän katetrihoidon suunnittelussa: ennen keuhkolaskimoiden ablaatiota suoritetulla sydämen TT:llä saadaan kolmiulotteinen kuva vasemman eteisen ja keuhkolaskimoiden anatomiasta (kuva 1). Keuhkolaskimoonatomiolla on merkitystä valittaessa hoitomuotoa kryo-, radiotaajuus- ja pulssienergiahoitoa välillä. Lisäksi samalla TT-kuvauksella voidaan sulkea pois sydämen sisäiset hyyttymät. Näin toimenpide voidaan suunnitella yksilöllisesti ja komplikaatoriski pienenee. Kammioperäisiin rytmihäiriöihin liittyen TT voi paljastaa esimerkiksi sepelvaltimotaudin, synnynnäisen sepelvaltimoanomalian tai arven rytmihäiriön taustalla. Lisäksi TT soveltuu implantoitavien rytmihäiriölaitteiden ja johtojen sijainnin tai johtoperforaation tutkimiseen. TT-kuvaus on hyödyllinen myös kammiorytmihäiriöiden kateritoimenpiteiden suunnittelussa ja toteutuksessa, sillä TT-kuvasta voidaan luoda anatominen 3D-malli, jonka voi yhdistää elektroanatomiiseen karttaan (kuva 2).



Kuva 2. Elektroanatominen kartta yhdistettynä vasemman eteisen tietokonetomografiaan. Lähde: Riho Luite.

Toisaalta TT-kuvantamisen haittoina ovat säteilyaltistus ja jodivarjoaineen tarve. Riippuen kuvausmuodosta sydämen TT-kuvauksen sädeannos on 1–3 mSv (3). Viimeaikainen laitetekninen kehitys on laskenut sekä sädealtistusta että kuvaukseen tarvittavaa jodivarjoaineen määrää.

Rytmihäiriöt vaikuttavat EKG-tahdistetun TT-kuvan laatuun merkittävästi. Nopea syketaajuus lyhentää keskidiastolista tasannevaihetta aiheuttaen kuviin liikeartefaktia. Samoin käy, jos syke on eteisvärinän tai lisälyöntien vuoksi epäsäännöllinen. TT-laitteissa on erilaisia toimintoja, joilla voidaan vähentää liian nopean tai epäsäännöllisen sykkeen aiheuttamia artefakteja. Sepelvaltimoiden TT-kuvauksissa käytetään rutiininomaisesti beetasalpausta hidastamaan syke optimaaliselle tasolle.

Sydämen magneettikuvaus

Sydämen MK on viime vuosina noussut yhdeksi rytmihäiriöpotilaan tärkeimmistä kuvantamismenetelmistä, koska sillä saadaan sekä hyvä anatominen että ainutlaatuinen kudokseteollinen tieto. MK:lla voidaan erottaa eri kardiomyopiat tarkemmin kuin muilla menetelmillä. Esimerkiksi arytmogeenisen kardiomyopatian (ACM, *arrhythmogenic cardiomyopathy*) diagnostiikassa MK on olennainen: se paljastaa sydämen rasva- ja fibroosikertymät, jotka ovat taudin keskeisiä piirteitä (4).

Isotooppitekniikat tarjoavat tietoa mm. sydänlihaksen verenkierrosta ja elinkelpoisuudesta sekä mahdollisesta tulehduksesta rytmihäiriön taustalla.

Sydämen MK on viime vuosina noussut yhdeksi rytmihäiriöpotilaan tärkeimmistä kuvantamismenetelmistä.

Samoin hypertrofisen kardiomyopatian (HCM, *hypertrophic cardiomyopathy*, kuva 3) diagnostiikka onnistuu yleensä muita menetelmiä paremmin MK:lla, sillä sen avulla voidaan määrittää sydänlihaksen sisäisiä kudosomeinaisuuksia kajoamattomasti. Gadolinium-kontrastiaineella tehtävällä LGE-kuvauksella voidaan visualisoida tarkasti sydänlihaksen arpikudosta, joka voi toimia rytmihäiriön substraattina (4). LGE:n laajuuden ja sijainnin kvantifiointi parantaa rytmihäiriöriskin arviointia yli perinteisten ejektiofraktioon perustuvien mittareiden (4). MK:n kudoluokitteluominaisuus mahdollistaa myös erilaisten sydänlihastulehdusten ja kertymäsairauksien diagnosoinnin rytmii- tai johtumishäiriön taustalla. Akuutissa myokardiitissa voidaan sydänlihaksessa nähdä turvotusta kirkassignaalinmuutoksena T2-painoitteisissa kuvissa sekä kohonneina arvoina T2-kartoissa. Myös LGE-alueiden sijainti auttaa erottamaan tulehdukselliset muutokset iskeemisestä vauriosta: tulehduksessa tehostuma sijaitsee tyypillisesti subepikardiaalisesti, kun taas iskeemisessä vauriossa se on yleensä subendokardiaalinen tai transmuraalinen. Kudosparametreista T1-arvot laskevat tyypillisesti rauta- tai rasvakertymissä, kuten Fabryn taudissa, ja nousevat puolestaan fibroosissa. Kudoluokittelun lisäksi MK tarjoaa tarkan tiedon sydämen lokeroiden tilavuuksista, seinämäpaksuuksista ja kammioiden supistustoiminnasta sekä mahdollisista läppävuodoista tai -ahtaumista. MK on täysin kajoamaton kuvantamismenetelmä eikä käytä ionisoivaa säteilyä. MK:n käyttöä rajoittavat sen huono saatavuus ja tutkimuksen pitkä kesto. Myös irralliset tahdistin- tai selkäydinstimulaattorin johdot voivat olla este MK:lle, vaikka muutoin kehon sisäisiin sähköisiin laitteisiin liittyvät MK:n vasta-aiheet ovat viime vuosina suurelta osin lieventyneet laitekehityksen myötä (5).

Kuten kaikki EKG-tahdistukseen perustuvat kuvantamismenetelmät, myös MK on herkkä rytmihäiriöiden aiheuttamille liikeartefakteille. Erityisesti nopea ja epäsäännöllinen syke ovat omiaan huonontamaan kuvan laatua MK:ssa, mutta toisaalta myös liian hidaskyke voi tehdä samoin. MK-laitteissa on

runsaasti erilaisia liikeartefakteja poistavia algoritmeja, joilla kuvanlaatua voidaan yrittää parantaa rytmihäiriöpotilailla.

Sydämen isotooppikuvaus

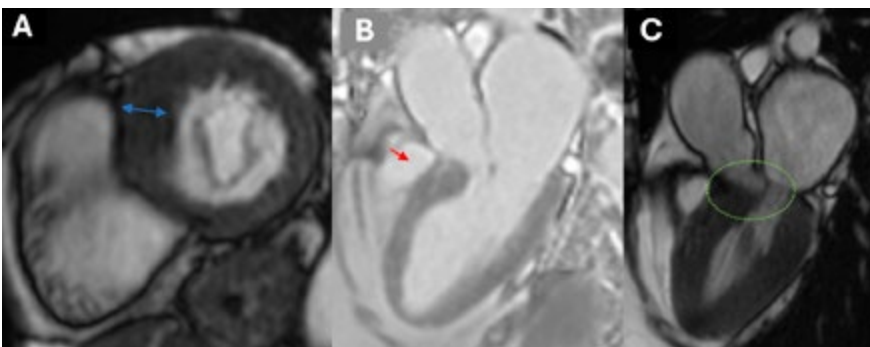
Isotooppimenetelmillä saadaan toiminnallista tietoa sydämen aineenvaihdunnasta ja verenkierrosta eli perfuusiosta, joka täydentää rakenteellista kuvantamista. Radioveden ($O^{15}\text{-H}_2O$) avulla tehtävällä positroniemissiotomografialla (PET) voidaan arvioida mahdollista sydänlihaksen hapenpuutetta rytmihäiriöiden taustalla. Teknetiumiin (^{99m}Tc) perustuvalla yksifotoniemissiotomografialla (SPECT, *single-photon emission computed tomography*) saadaan rasitusperfuusiotiedon lisäksi tietoa lepoperfuusiopuutosten perusteella arpaluista.

Kun rytmihäiriöiden taustalla epäillään tulehduksellista sydänsairautta, kuten sarkoidoosia, sydänlihasta voidaan tutkia fluori-18-fluorodeoksiglukoosi-positroniemissiotomografialla ($^{18}\text{F-FDG-PET}$). Tutkimusta varten potilas valmistellaan 1–2 vuorokautta kestäväällä vähähiilihydraattisella ruokavaliolla ja 12 tunnin paastolla, mikä ohjaa terveet sydänlihassolut käyttämään energianlähteenään vapaita rasvahappoja. Tällöin mahdolliset tulehdussolupesäkkeet erottuvat ^{18}F -fluorodeoksiglukoosin lisääntyneenä kertymisinä sydänlihakseseen. Tulehduksellisten sydänsairauksien kuvantamisesta kerrotaan tarkemmin lehden erillisessä artikkelissa. Isotooppikuvantamisen huonoina puolina muihin kuvantamismenetelmiin nähden on heikompi paikka- ja aikaerotuskyky sekä säderasitus. SPECT-kuvauksen aiheuttama säteilyannos on noin 6–11 mSv riippuen kuvausvaiheiden määrästä (3). $^{18}\text{F-FDG-PET}$ -tutkimuksen säteilyannos on noin 5 mSv (3). Sen sijaan $O^{15}\text{-H}_2O\text{-PET}$ -kuvauksen aiheuttama säteilyannos on 1 mSv, ja kokonaisannos nousee noin 2 mSv:iin, kun mukaan lasketaan attenuaatiokorjaukseen käytettävä matala-annoksinen TT (3). Menetelmät ovat kalliita ja harvemmin saatavilla kuin ultraääni, TT tai MK (taulukko).

Spesifit rytmihäiriöihin assosioituvat sydänsairaudet

Eteisvärinä

Eteisvärinään liittyy sekä rytmihäiriölle altistavia että sen seurauksena syntyviä sydämen rakenteellisia muutoksia, joita voidaan tutkia kuvantamalla. Vasemman eteisen ja eteiskorvakkeen koko korreloi vahvasti eteisvärinän esiintyvyyteen. Toisaalta pitkittynyt eteisvärinä johtaa vasemman eteisen laajentumiseen ja seinämän fibrotisoitumiseen. Vasemman eteisen poikkimitta, pinta-ala ja tilavuus voidaan helposti määrittää



Kuva 3. Magneettikuva hypertrofisesta kardiomyopatiasta. A) Lyhyen akselin suunnassa kammioväliseinä on selvästi paksuuntunut (loppudistolinen seinämäpaksuus 18 mm; sininen nuoli). B) Kolmilokerosuunnassa paksuuntuneessa kammioväliseinäessä näkyy jälkitechostuma (punainen nuoli), joka voi altistaa rytmihäiriöille. C) Supistumisvaiheessa vasemman kamion ulosvirtauskanava on merkittävästi kaventunut paksuuntuneen kammioväliseinän vuoksi ja hiippalapän etupurjeessa nähdään tyypillinen SAM-liike (systolic anterior motion).

Taulukko: Rytmihäiriöpotilaan kuvantaminen eri menetelmin.

Modaali-teetti	Kenelle / milloin?	Milloin ei?	Edut / haitat / muuta
UÄ	Ensilinjan tutkimus lähes kaikille rytmihäiriöpotilaille; kammioiden koko ja toiminta, läppäviat, kardiomyopatiaepäily. Trombin poissulkemiseen ennen rytminsiirtoa/toimenpidettä.	Näkyvyys rajoittunut huonossa akustisessa ikkunassa. TEE vaatii paaston ja potilaan yhteistyötä.	Laajalti saatavilla, nopea, ei säteilyä. Kuvanlaatu potilasriippuvainen, rajallinen kudoskarakterisointi.
TT	Tarkka anatomia: sepelvaltimotauti, keuhkolaskimoanatomia AF-ablaatiassa, laite- ja johtokomplikaatiot, VT-ablaation suunnittelu.	Munuaisten vajaatoiminta, jodivarjoaineallergia, säteilyn välttäminen.	Erinomainen anatominen erotuskyky, nopea. Säteily ja jodivarjoaine. Rytmihäiriö voi heikentää kuvanlaatua.
MK	Epäilty kardiomyopatia, myokardiitti, arpi/fibroosi; kammioeräiset rytmihäiriöt ja riskiarvio, johtumishäiriöt.	Tietyt laitteet/irrationiset johdot, klaustrofobia.	Paras kudoskarakterisointi, ei säteilyä. Pitkä tutkimus, heikko saatavuus, hinta. Metalliartefaktit mahdollisia tahdistinpotilailla.
SPECT perfuusio	Iskeemisen rytmihäiriöetiologian poissulku, infarktiarven osoittaminen ja kvantitaatio. Faasianalyysi.	Ei sovellu anatomiseen kuvantamiseen tai kudoskarakterisointiin.	Funktionaalinen analyysi. Rungas säteily, heikko paikkaerotuskyky. Perfuusion analyysi suhteellista.
O¹⁵-H₂O-PET	Iskeemisen rytmihäiriöetiologian poissulku, mikrovaskulaarisen taudin poissulku.	Rajallinen saatavuus; ei ensilinjan tutkimus useimmilla rytmihäiriöpotilailla.	Kvantitatiivinen perfuusiomittaus, erittäin hyvä diagnostinen tarkkuus. Lyhyt puoliintumisaika ja pieni säteilyannos. Vaatii syklotronin.
¹⁸F-FDG-PET	Tulehduksellisten sydänsairauksien poissulku (esim. sarkoidoosi), sydänlihaksen elinkelpoisuuden arvio.	Rajallinen saatavuus; ei ensilinjan tutkimus useimmilla rytmihäiriöpotilailla.	Tulehdus- ja aineenvaihduntatieto. Kallis, esivalmistelu (dieetti/paasto), säteily.

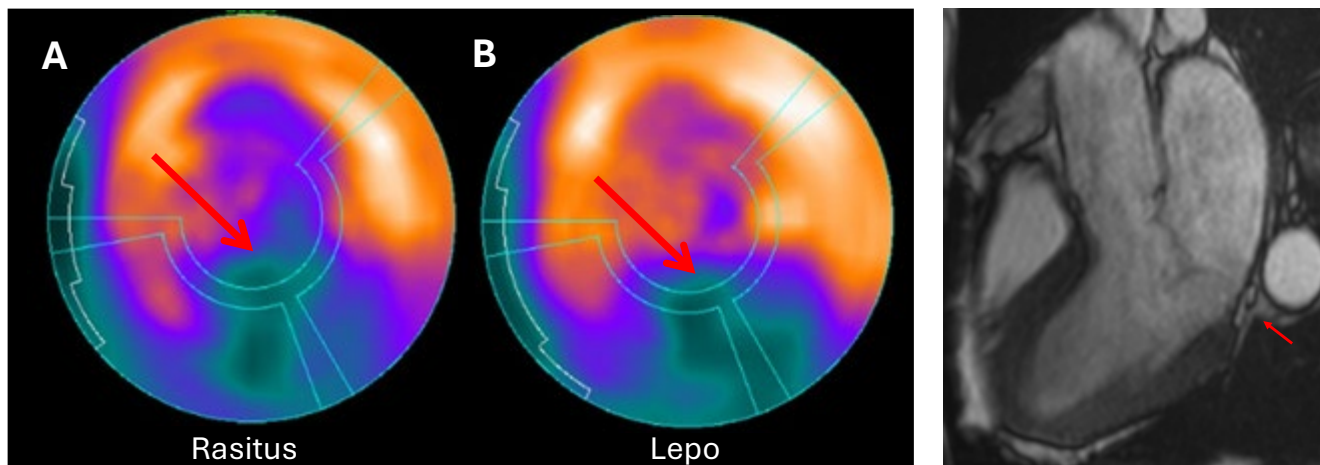
TTE:llä. Eteisen koko on tärkeä katetriablaatiohoitoa ohjaava mittari. Rytminsiirrossa ja katetriablaatiassa eteiskorvakkeen hyytymien pois sulkemisella on keskeinen merkitys. Eteiskorvakkeen tutkimiseen TEE on TTE:tä tarkempi menetelmä. TEE:llä voidaan havaita hyytymän lisäksi myös eteiskorvakkeen hidastunut verenvirtaus (niin sanottu smoke-ilmio). Myös TT-kuvaus on tarkka eteiskorvakehyytymän diagnosoimisessa. Huomionarvoista kuitenkin on, että hidastuneen varjoainetäytön vuoksi TT-kuvaus pitää toistaa useassa vaiheessa luotettavan käsityksen saamiseksi. Vaikka MK ei ole rutiininomainen kuvausmenetelmä eteisvärinäpotilaan arvioinnissa, vasemman eteisen seinämän fibroosiaistetta voidaan arvioida korkean resoluution kontrastiainetehosteisella MK:lla.

Kammioisälyöntisyys

Kammioisälyöntien arvioinnista on julkaistu perusteellinen rytmikardiologi Jaakko Inkovaaran kirjoittama artikkeli Sydänäänen numerossa 3/2025. Kammioisälyöntisyyttä esiintyy sekä terveessä sydämessä että rakenteellisissa sydänvivoissa. Koska nimenomaan sydänsairauksien yhteydessä esiintyvä lisälyöntisyys heikentää potilaan ennustetta, on oleellista sulkea pois sydänsairauden mahdollisuus kuvantamalla. TTE tehdään käytännössä kaikille, jotka lähetetään lisälyöntien vuoksi arvioon. Sepelvaltimotauti voidaan sulkea pois TT-kuvauksella tai funktionaalisilla perfuusiotutkimuksilla. Sydämen MK on aiheellinen epäilyssä spesifiä sydänsairautta, kuten arytmoogeenistä kardiomyopatiaa tai tulehduksellista sydänsairautta. MK on suositeltava myös silloin, kun lisälyönnit ovat lähtöisin epätyypilliseltä anatomiselta alueelta tai kyseessä ovat polymorfiset kammioisälyönnit ilman ilmeistä syytä.

Arpitakykardia

Sydäninfarktin tai muun sydänlihaskuvaurion jälkeen vaurioitunut sydänlihas korvautuu arpikudoksella. Arpi muodostaa alueen, jossa sähkö johtuu poikkeavasti, ja arven reuna-alueille voi syntyä kiertoaktivaatiosilmukoita, jotka laukaisevat kammiotakykardioita jopa vuosia akuutin tapahtuman jälkeen. Kroonisessa vaiheessa infarkti näkyy ultraäänikuvauksessa vaurioituneena alueena, joka voi olla aneurysmaattisesti pullistunut tai supistua huomattavasti heikommin kuin ympäröivä sydänlihas. Tarkin menetelmä infarktiarven kartoitukseen on kuitenkin sydämen MK myöhäisvaiheen LGE-kuvauksella. Infarktiarpi näkyy LGE-kuvissa subendokardiaalisena tai transmuraalisena tehostumana tukkeutuneen sepelvaltimon suonitusalueella. LGE-kuvien avulla voidaan määrittää arven laajuus ja tarkastella sen rakennetta. Tutkimukset ovat osoittaneet, että sekä arven koko että erityisesti sen heterogeenisyys ennustavat kammiotakykardioiden ilmaantumista, uusiutumista ja äkillistä sydänkuolemaa: mitä laajempi arpi ja mitä epätäydellisemmin sen reuna-alueet ovat arpeutuneet (eli mitä enemmän ”sähköisesti epävakaa”) osittain arpeutunutta kudosta on jäljellä, sitä todennäköisempi on vaarallisen rytmihäiriön syntyminen (6). TT:llä arven kuvantamisen tarkkuus on jonkin verran MK:ta rajallisempaa, mutta krooniseen infarktiin liittyvät arpimuutokset, kuten seinämän ohentuminen ja aneurysman muodostuminen, voidaan hyvin havaita. SPECT-kuvauksessa infarktiarpi näkyy sydänlihaksen perfuusion alueellisena puutoksena, jonka laajuus voidaan määrittää prosentuaalisesti (kuva 4). PET-kuvantamisella voidaan lisäksi erottaa arpi hibernoivasta eli hapen puutteen vuoksi ”nukkuvasta” sydänlihaksesta.



Kuva 4 (vasemmallä). Sydänlihasperfuusion gammakuvassa näkyy sekä rasitusvaiheessa (A) että lepovaiheessa (B) infarktiarpi (punainen nuoli), jonka laajuus on 40 % sydänlihaksen pinta-alasta. Arpi voi toimia rytmihäiriöpesäkkeenä.

Kuva 5 (oikealla). Kolmilokerosuunnassa otetussa magneettikuvassa mitraaliläppärenkaan ja sydänlihaksen väliin jää merkittävä (13 mm) erkanema (punainen nuoli), jota kutsutaan mitraalirenkaan disjunktiksi. Disjunktio assosioituu mitraaliläppäprolapsiin liittyvään rytmihäiriöriskiin.

Arytmogeeniset kardiomyopatiat

ACM on harvinainen, tyypillisesti periytyvä sairaus, jolle on ominaista erityisesti oikean kammion sydänlihaksen korvautuminen rasva- ja arpikudoksella. Tämä rakenteellinen uudelleenmuotoutuminen synnyttää arytmogeenisen substraatin, joka altistaa vakaville kammioperäisille rytmihäiriöille, erityisesti kammiotakykardialle, sekä äkkikuolemalle (4). ACM-diagnoosi perustuu kansainvälisiin Task Force -kriteereihin, jotka yhdistävät elektrokardiografiset löydökset, histopatologiset muutokset, geneettiset tekijät ja sukuanamneesin sekä tyypilliset kuvantamislöydökset (7). Kuvantamisessa havaittavat löydökset ovat usein epäspesifisiä mutta diagnostisesti merkityksellisiä: niihin kuuluvat oikean kammion laajentuminen, alueelliset seinämän liikehäiriöt (akinesia tai dyskinesia), systolisen toiminnan heikkeneminen sekä aneurysmien esiintyminen, erityisesti oikean kammion ulosvirtauskanavan alueella (7). Sydämen MK:ssa voidaan lisäksi todeta LGE- ja rasvakertymiä oikean kammion seinämässä. Kuvantamislöydöksillä on keskeinen merkitys paitsi diagnoosin varmistamisessa myös ennusteen ja rytmihäiriöriskin arvioinnissa. European Society of Cardiology (ESC) vuoden 2022 suositusten mukaan ICD-asennusta tulee harkita potilaille, joilla on varma ACM ja vaikea oikean tai vasemman kammion toimintahäiriö (suositusluokka IIa) (8). Lisäksi on osoitettu, että potilaille, joilla tautiprosessi ulottuu oikean kammion lisäksi myös vasempaan kammioon, kammioperäisten rytmihäiriöiden ja äkkikuoleman riski on selvästi suurentunut (9).

Arytmogeeninen mitraaliläppänen prolapsi

Mitraaliläppänen prolapsiin voi liittyä rytmihäiriöalttius. Arytmogeeniseksi mitraaliläppänen prolapsiksi luokitellaan tapaukset, joissa prolapsin yhteydessä on osoitettavissa dokumentoidut, toistuvat kammiolisälyönnit tai muu kammioperäinen rytmihäiriö ilman muuta osoitettavaa rytmihäiriön lähdeä (10). Usein tähän liittyy mitraaliläppärenkaan disjunktio (MAD, *mitral annular disjunction*). MAD on rakenteellinen poikkeavuus, jossa mitraalirenkaan ja vasemman kammion seinämän välinen kiinnitys on irtautunut siten, että rengas siirtyy supistu-

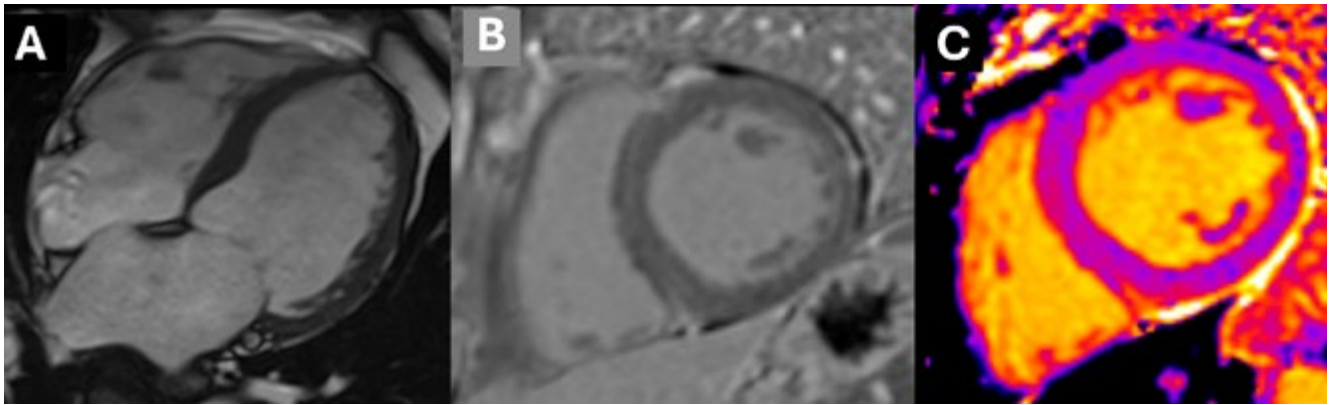
misvaiheen aikana epänormaalin kauas (> 5 mm) kammion lihaksesta (kuva 5) (11). MAD voi esiintyä itsenäisenä löydöksenä, mutta useimmiten se liittyy myksomatoottisesti paksuuntuneeseen mitraaliläppänen rappeumaan ja mitraaliläppänen prolapsiin. MAD:n on osoitettu liittyvän lisääntyneeseen alttiuteen kammioperäisille rytmihäiriöille ja äkkikuolemalle.

Ultraäänellä paras näkyvyys mitraaliläppänen renkaan liitoskohtaan saadaan pitkän akselin suunnasta. MAD voidaan mitata millimetreinä mitraalirenkaan ja vasemman kammion seinämän erkanemisena supistumisvaiheen aikana. MK on kuitenkin tarkin kuvantamismenetelmä MAD:n mittaamisessa. MK:lla voidaan nähdä myös MAD-ilmioon usein liittyvä läppärenkaan alainen fibroosi (12). Fibroosin laajuuden on raportoitu assosioituvan kammioperäiseen rytmihäiriöriskiin (12).

Muut rytmihäiriöihin liittyvät sairaudet

Laajentavaan kardiomyopatiaan (DCM, *dilated cardiomyopathy*; kuva 6) liittyy lisääntynyt rytmihäiriöriski riippumatta sen etiologiasta (4). DCM:n kuvantamisessa sydämen ultraääni on perustutkimus, jolla nähdään kammioiden laajentuminen ja alentunut pumppausteho, mutta MK syventää taudin syyn ja rytmihäiriöriskin selvittelyä. ESC:n vuoden 2022 hoitosuosituksen (IIa) mukaan ICD:n asennusta tulisi harkita potilaille, joilla on diagnosoitu DCM, joilla vasemman kammion pumppausteho on alentunut ja joilla on vähintään kaksi muuta rytmihäiriöille altistavaa riskitekijää, kuten synkopee tai LGE-arpi (8).

HCM (kuva 3) on yksi sydänperäisiin äkkikuolemiin johtavista sairauksista erityisesti nuorilla ja keski-ikäisillä (8). Rakenteelliset muutokset, kuten sydänlihaksen paksuuntuminen, mikroverisuoniston toimintahäiriö, sydänlihaksen fibroosi ja aneurysma voivat toimia rytmihäiriön käynnistävänä substraattina HCM:ssä (13). Kuvantamisen rooli rytmihäiriöriskin arvioinnissa on HCM:ssä korostunut: ultraäänellä todetaan seinämäpaksuuntuman aste ja laajuus sekä mahdollinen vasemman kammion ulosvirtauskanavan ahtauminen. Ahtauma-aste voidaan arvioida sekä levossa että rasitusprovokaatiolla. Jälkitechostumien laajuus (> 15 % vasemman kammion massasta) on merkittävä riskitekijä (13).



Kuva 6. Dilatoivaan kardiomyopatiaan (DCM) sopiva magneettikuvauslöydös. A) Nelilokerokuvassa vasen kammio on voimakkaasti laajentunut (loppu-diastolinen tilavuus 180 ml/m^2) ja sen systolinen toiminta on selvästi heikentynyt (ejektiofraktio 30 %). Myös oikea kammio on laajentunut. B) Myöhäistehostumakuvissa nähdään DCM:lle tyypillinen sydänlihaksen sisäinen, juostemainen jälkitechostuma kammioväliseinäissä. DCM:ssä jälkitechostumien määrän on osoitettu korreloivan vakavien rytmihäiriöiden riskiin. C) Ennen kontrastiaineen antoa otettu T1-relaksaatioaika on kammioväliseinäissä selvästi koholla (1130 ms), mikä viittaa fibroosiin.

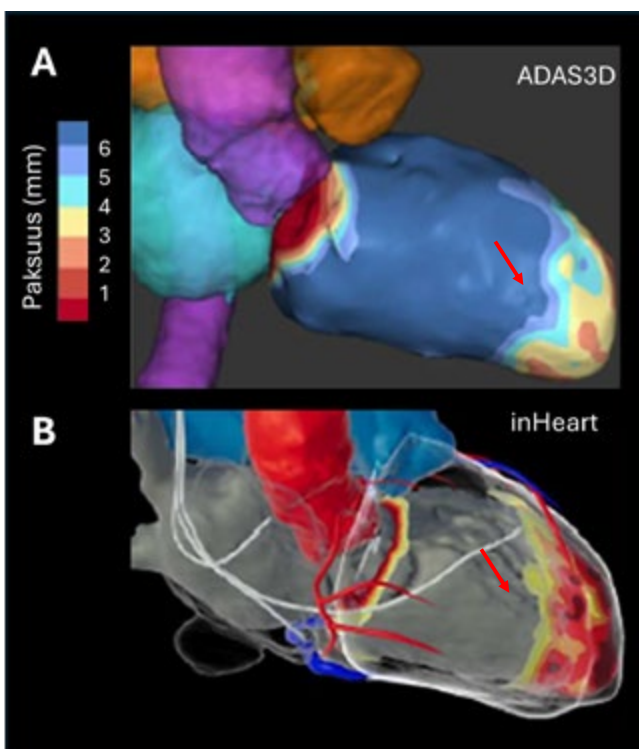
Tulehdukselliset sydänlihassairaudet, kuten sarkoidoosi ja akuutti myokardiitti, voivat tyypillisesti aiheuttaa sekä eteisettä kammioeräisiä rytmihäiriöitä. Esimerkiksi jättisolomyokardiitti on harvinainen tulehduksellinen sairaus, jossa sekä johtumishäiriöt että kammioeräiset rytmihäiriöt ovat yleisiä. Jättisolomyokardiitissa ja muissa rajuissa sydänlihaksen tulehduksissa MK:lla nähdään laaja-alainen LGE (14). Näitä tautitiloja käsitellään tämän Teemanumeron erillisessä artikkelissa.

Rytmihäiriön hoidon suunnittelu ja toimenpiteitä edeltävä kuvantaminen

Rytmihäiriöpotilaan hoidon suunnittelu yleisimmissä rytmihäiriöissä edellyttää rakenteellisen sydänsairauden poissulkeamista ja vasemman kammion toiminnan arviointia. Ennen rytmihäiriölääkityksen, kuten flekainidin, aloittamista tehdään yleensä sydämen ultraäänitutkimus ja arvioidaan sepelvaltimotaudin mahdollisuus. Eteisvärinän kiireellisen rytminsiirron yhteydessä on varmistettava, ettei sydämessä ole hyttymää. Perinteinen menetelmä on ruokatorven kautta tehtävä ultraääni. TT-kuvaus on myös mahdollinen ja potilaalle miellyttävämpi, mutta siihen liittyy säteilyä ja varjoaineen käytön rajoitteita. Huomioitavaa on, että eteiskorvakkeen luotettava arviointi TT:llä vaatii hitaan täyttymisen takia tavanomaisen kuvauksen lisäksi 1–2 minuutin kohdalla tehtävän myöhäisvaiheen kuvauksen.

Eteisvärinän katetrihoitoa suunniteltaessa keuhkolaskimoiden anatomia voidaan tarvittaessa selvittää liittyen kryo-, radiotaajuus- ja pulssienergiahoitoon valintaan (kuva 1). Poikkeava keuhkolaskimoanatomia voi vaatia ennalta huolellisesti suunniteltua toimenpidettä. Myös vasemman eteisen muulla anatomialla, kuten eteisen koolla, on vaikutusta uusintatoimenpiteen tarpeeseen (15). Lisäksi yksittäisessä tutkimuksessa on osoitettu, että ablaatiolinjan ja keuhkolaskimoiden ostioiden välisellä etäisyydellä on vaikutusta keuhkolaskimoiden isolaation täydellisyyteen ja lisääblaaion tarpeeseen (16). MK:lla osoitetulla eteisen fibroosilla on myös osoitettu olevan yhteys eteisvärinän uusiutumiseen (17).

Kammioeräisten rytmihäiriöiden katetriablaatio perustuu rytmihäiriöpesäkkeen paikantamiseen. Ennen toimenpidettä tehtävä TT tai MK mahdollistaa sydämen tarkan anatomian, arven koon ja sijainnin määrittämisen sekä seinämäpaksuuteen perustuvan rytmihäiriökanavien kartoituksen tarkoitusta varten kehitetyillä kuvankäsittelytyökaluilla, kuten ADAS3D® ja inHEART® (kuva 7). Arven sisäisten kanavien paikantaminen, ns. channelling, auttaa ja nopeuttaa katetriablaatiohoitoa. TT-kuvauksella voidaan myös sulkea pois sydänlokeiden sisäiset hyttymät.



Kuva 7. Tietokonetomografiakuvien pohjalta tehtyt arpanalyysikuvat ADAS3D (A) ja inHEART (B). Vasemman kammion kärjessä näkyy epätasainen arpialue, jonka sisällä on ”kanavia” (punainen nuoli). Kanavat voivat toimia kammiorhythmian lähteenä, ja niihin voidaan kohdentaa rytmihäiriön katetrihoito.

Lopuksi

Rytmihäiriöpotilaan kuvantaminen on keskeinen osa etiologian selvittelyä, rytmihäiriörisin arviointia ja hoidon suunnittelua. Ultraäänitutkimus toimii ensilinjan menetelmänä rakenteellisen sydänsairauden poissulkemisessa, kun taas MK tarjoaa yksityiskohtaista tietoa sydänlihaksen kudostekniikasta ja rytmihäiriösubstraatista. TT on erityisen hyödyllinen sydämen anatomian tarkassa arvioinnissa ja toimenpiteiden suunnit-

telussa, ja isotooppikuvantaminen täydentää kokonaisuutta tuottamalla toiminnallista tietoa sydänlihaksen perfuusiosta, elinkelpoisuudesta ja tulehduksellisista prosesseista. Kuvantamisen menetelmän valinnan tulisi aina perustua kliiniseen kysymyksenasetteluun, ja eri menetelmät nähdään usein toisiaan täydentävinä osina rytmihäiriöpotilaan kokonaisvaltaista arviointia. ■

Lähteet:

- Harris P, Lysitsas D. Ventricular arrhythmias and sudden cardiac death. *BJA Educ* 2016;16:221–229.
- Disertori M, Rigoni M, Pace N, ym. Myocardial Fibrosis Assessment by LGE Is a Powerful Predictor of Ventricular Tachyarrhythmias in Ischemic and Nonischemic LV Dysfunction A Meta-Analysis. 2016. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2016;9(9):1046–1055.
- Williams MC, Stewart C, Weir NW, ym. Using radiation safely in cardiology: What imagers need to know. *Heart* 2019;105:798–806.
- Di Bella G, Micari A, Licordari R, ym. Cardiac Magnetic Resonance Imaging and Arrhythmic Risk Stratification in Cardiomyopathies. *Journal of Clinical Medicine*;14. Epub ahead of print July 1, 2025. DOI: 10.3390/jcm14144922.
- Glikson M, Nielsen JC, Leclercq C, ym. 2021 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. *European Heart Journal* 2021;42:3427–3520.
- Ávila P, Pérez-David E, Izquierdo M, ym. Scar Extension Measured by Magnetic Resonance-Based Signal Intensity Mapping Predicts Ventricular Tachycardia Recurrence After Substrate Ablation in Patients With Previous Myocardial Infarction. *JACC: Clinical Electrophysiology*, Volume 1, Issue 5, 2015, Pages 353–365.
- Marcus FI, McKenna WJ, Sherrill D, ym. Diagnosis of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/Dysplasia: Proposed modification of the task force criteria. *Circulation* 2010;121:1533–1541.
- Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, De Riva M, ym. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *European Heart Journal* 2022;43:3997–4126.
- Aquaro GD, De Luca A, Cappelletto C, ym. Prognostic Value of Magnetic Resonance Phenotype in Patients With Arrhythmogenic Right Ventricular Cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 2020;75:2753–2765.
- Sabbag A, Essayagh B, Barrera JDR, ym. EHRA expert consensus statement on arrhythmic mitral valve prolapse and mitral annular disjunction complex in collaboration with the ESC Council on valvular heart disease and the European Association of Cardiovascular Imaging endorsed by the Heart Rhythm Society, by the Asia Pacific Heart Rhythm Society, and by the Latin American Heart Rhythm Society. *Europace* 2022;24:1981–2003.
- Karangelis D, Mylonas KS, Krommydas A, ym. Mitral Annular Disjunction: Pathophysiology, Pro-Arrhythmic Profile and Repair Pearls. *Reviews in Cardiovascular Medicine*;23 . Epub ahead of print 2022. DOI: 10.31083/j.rcm2304117.
- Custódio P, de Campos D, Moura AR, ym. Mitral Annulus Disjunction: A Comprehensive Cardiovascular Magnetic Resonance Phenotype and Clinical Outcomes Study. *Journal of Magnetic Resonance Imaging* 2025;61:1368–1375.
- Yoon SG, Hong GR. Evaluation of sudden cardiac death in hypertrophic cardiomyopathy. *Journal of Cardiovascular Imaging*;33. *J Cardiovasc Imaging* 33, 14 (2025). <https://doi.org/10.1186/s44348-025-00054-5>.
- Lehtonen J, Uusitalo V, Pöyhönen P, ym. Cardiac sarcoidosis: phenotypes, diagnosis, treatment, and prognosis. *European Heart Journal* 2023;44:1495–1510.
- Njoku A, Kannabhiran M, Arora R, ym. Left atrial volume predicts atrial fibrillation recurrence after radiofrequency ablation: A meta-analysis. *Europace* 2018;20:33–42.
- Lin YJ, Tsao HM, Chang SL, ym. The distance between the vein and lesions predicts the requirement of carina ablation in circumferential pulmonary vein isolation. *Europace* 2011;13:376–382.
- Marrouche NF, Wilber D, Hindricks G, ym. Association of atrial tissue fibrosis identified by delayed enhancement MRI and atrial fibrillation catheter ablation: The DECAAF study. *JAMA* 2014;311:498–506.

Sidonnaisuudet

- Saara Sillanmäki: luentopalkkio (Suomen Kardiologinen Seura), luottamustehtävät (Suomen Kardiologisen Seuran sihteeri, UEMS/EBNM CME -akkreditointikomitean jäsen) ja muut sidonnaisuudet (osakkuus ja hallituksen jäsen, Sataman Sydän Oy).
- Juhani Junttila: luentopalkkio (Suomen Kardiologinen Seura, Boehringer Ingelheim, Bittium, Astra Zeneca), asiantuntijatehtävät (Novartis, BMS) ja muut sidonnaisuudet (osakas, Oulun Sydänkeskus Oy).
- Marja Hedman: luentopalkkio (Suomen Kardiologinen Seura, Pfizer), luottamustoimet (Suomen Kardiologisen Seuran puheenjohtaja, Potilasvakuutuskeskuksen asiantuntija, STM:n PALKO-Kuvantamisjaoksen asiantuntija), muut sidonnaisuudet (osakas ja hallituksen jäsen, Sataman Sydän Oy).

Tahdistinpotilaan kuvantaminen

Jarkko Karvonen, LT, kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus

Heli Tolppanen, LT, kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus

Harri Silvola, LL, kardiologian erikoislääkäri, Oys Sydän

Aino-Maija Vuorinen, LT, radiologian erikoislääkäri, kliininen opettaja, Hus Diagnostiikkakeskus ja Helsingin yliopisto

Tiivistelmä

Sydänkuvantaminen on keskeinen osa sydämentahdistinpotilaan arviointia ennen laitteen asennusta sekä laitevalinnan tukena ja komplikaatioiden diagnostiikassa. Vasemman kammion ejektiofraktio ohjaa edelleen hoitopäätöksiä, mutta kudostuvantaminen, erityisesti sydämen magneettikuvaus, parantaa rytmihäiriöriskin ja taustasairauden tunnistamista. Kuvantaminen voi muuttaa hoitolinjaa merkittävästi ja johtaa esimerkiksi tahdistimen asennuksen sijaan ICD-hoitoon. Tämä katsaus pohjautuu EACVIn ja EHRAn yhteisiin konsensuslausumiin kuvantamisesta ennen laiteasennusta (1) ja asennuksen jälkeen (2).

Kuvantaminen ennen tahdistimen asennusta

Sydänkuvantamisella on keskeinen rooli potilaan arvioinnissa ennen tahdistinlaitteen asennusta. Koska uusinta- ja päivitystoimenpiteet ovat varsin riskialttiita, potilaalle tulee valita suoraan se laite, jota hän jatkossa todennäköisimmin tarvitsee. Kuvantamisen tavoitteena on vasemman kammion ejektiofraktion (EF) arviointi, taustalla olevan sydänsairauden tunnistaminen ja äkkikuolemariskin arviointi optimaalisen laitevalinnan tueksi (hidaslyöntisyystahdistin [PM], vajaatoimintatahdistin [CRT] tai rytmihäiriötahdistin [ICD]).

Kuvantaminen laitevalinnan tukena (PM, CRT, ICD)

Laitevalinta perustuu ensisijaisesti kliiniseen tilanteeseen ja vasemman kammion systoliseen toimintaan mutta yhä useammin myös kudostuvantamisen löydöksiin. Kaikille potilaille tulee tehdä transtorakaalinen sydämen ultraäänitutkimus (TTE) ennen hidaslyöntisyystahdistimen asennusta, ja sen (sekä kliinisen tilanteen) perusteella tehdään tarvittaessa lisäkuvantamisia.

PM. Tavanomainen hidaslyöntisyystahdistin riittää potilaille, joilla ei ole merkittävää rakenteellista sydänsairautta (ml. vajaatoiminta) eikä kammio-peräisten rytmihäiriöiden riski ole koholla. Jos EF on alentunut, tulee pohtia resynkronisaatio- ja/ tai defibrillaattorihoidon tarvetta. Nykyisten hoitosuosittelujen (3) perusteella tavallinen tahdistin voidaan asentaa kammio-tahdistusta tarvitseville potilaille, joiden EF on yli 40 %. Jos EF on korkeintaan 40 %, tulisi potilaalle asentaa biventrikulaarinen vajaatoimintatahdistin, tai tuoreimman ohjeistuksen perusteella myös johtoratatahdistus on mahdollinen (4). Johtoratatahdistusta käytetään yhä useammin silloin kun tarvitaan kammio-tahdistusta sekä niillä potilailla, joilla vasemman kammion toiminta on normaalia, että niillä, joilla EF on lievästi alen-

tunut (40–50 %), tai merkittävästi alentunut (EF < 40 %, jos oma QRS on kapea).

Magneettikuvaus (MK) tulee tehdä hidaslyöntisyystahdistinta tarvitsevalle potilaalle ennen tahdistimen asennusta, jos on kliininen epäily tulehduksellisesta sydänsairaudesta tai muusta kardiomyopatiasta, joka voi vaatia primaariprofylaktista ICD-hoittoa. MK:n aiheita ovat esimerkiksi distaalinen eteis-kammiokatkos alle 60-vuotiaalla, merkittävät kammio-peräiset rytmihäiriöt, tiedossa oleva muun elimen sarkoidoosi, vasemman kammion hypertofia tai EKG:ssä nähtävät repolarisaatiohäiriöt. Vasemman kammion hypertofia voi liittyä mm. amyloidoosiin, kertymänsairauksiin ja hypertrofiseen kardiomyopatiaan (HCM), ja HCM-potilaat voivatkin tarvita samalla primääriprofylaktista ICD-toimintoa (ks. tuonnempana). Tahdistinjohdoista johtuvan artefaktin sekä magneettiyhteen-sopivuusongelmien välttämiseksi MK tulee tehdä mieluiten ennen tahdistimen tai rytmihäiriötahdistimen asentamista, tarvittaessa väliaikaisen ruuvijohdon turvin.

CRT. Jos potilas tarvitsee resynkronisaatiohoitoa, eli QRS on leveä, asennetaan biventrikulaarinen vajaatoimintatahdistin tai joissain tapauksissa johtoratatahdistin (5). Potilasvalinta perustuu QRS:n leveyteen ja vasemman kammion EF:ään. TTE:llä arvioitu dyssynkronia ei tuo lisäarvoa CRT-hoidon vasteen ennakoimiseen (6). CRT-hoidon onnistuessa myös sekundaarinen mitraalivuoto vähenee, mutta sitä on hankala ennustaa TTE:llä ennen CRT:n asentamista.

ICD. Primaariprofylaktista ICD:tä tulee harkita potilaille, joilla on suuri äkkikuoleman riski eikä toimintakyky ole muuten rajoittunut. Suuren äkkikuoleman riskin merkkejä ovat muun muassa voimakkaasti alentunut EF ($\leq 35\%$), etenkin jos taustalla on iskeeminen sydänsairaus, hypertrofinen kardiomyopatia tai magneettikuvauksessa nähtävät laajat jälkitechostumat. Jos potilas on elvytetty kammiovärinästä tai hänellä on ollut hemodynaamisesti huonosti siedetty kammiotakykardia ilman korjattavaa syytä (esim. akuutti iskemia tai elektrolyyttihäiriö), tulee potilaalle asentaa sekundaaripreventiivinen ICD, lähtökohtaisesti kuvantamistuloksista riippumatta.

Vasemman kammion systolisen toiminnan arviointi

Vasemman kammion EF on edelleen keskeisin yksittäinen kuvantamisparametri laitehoidon suunnittelussa. Sen mittaamiseen tulisi käyttää kaksikulotteisessa ultraäänikuvantamisessa (2D-echo) Simpsonin biplane-menetelmää, mutta mittaukseen liittyy merkittävää vaihtelua erityisesti silloin, kun LVEF on lähellä ICD- tai CRT-hoidon raja-arvoja. Kolmiulotteinen kaiku-kardiografia (3D-echo) vähentää geometrisiin oletuksiin liittyviä virheitä ja parantaa mittausten toistettavuutta mutta ei ole

aina teknisesti toteutettavissa, etenkin jos kammio on dilatoitunut. Sydämen magneettikuvaus on LVEF-mittauksen kulmakivi ja on erityisen hyödyllinen potilailla, joilla ultraäänikuvantaminen on teknisesti rajoittunut tai joilla vasemman kammion muoto on poikkeava. Pienetkin erot LVEF-arvossa voivat ratkaista, täyttääkö potilas ICD- tai CRT-indikaation, minkä vuoksi mahdollisimman toistettava mittaus on tärkeää (1).

Kudoskuvantamisen rooli

Kudoskuvantaminen, erityisesti MK:n myöhäistehostuma (LGE, *late gadolinium enhancement*), on keskeinen työkalu rytmihäiriöriskin arvioinnissa (1). Sydänlihaksen arpi ja fibroosi muodostavat sähköisen alustan kammioeräisille rytmihäiriöille, ja niiden esiintyminen lisää äkkikuoleman riskiä myös potilailla, joilla LVEF on säilynyt.

LGE:n lisäksi MK mahdollistaa myös diffuusin fibroosin arvioinnin T1-kartoituksen ja soluvälitilan määrittämisen avulla. T2-kartoituksella voidaan havaita akuutti sydänlihasködeema, joka voi olla viite tulehduksesta, mutta normaalit T2-relaksaatioajat eivät sulje pois tulehduksellista sydänlihassairautta. Tulehduksellisissa sydänsairauksissa, kuten sarkoidoosissa ja myokardiitissa, positroniemissiotomografian (PET) ja tietokonetomografian (TT) yhdistelmä (PET-TT) täydentää MK:ta osoittamalla aktiivisen tulehduksen. Myös PET-MK on käyttekelvoinen kuvantamismenetelmä, mikäli se on saatavilla.

Kardiomyopatiat muodostavat heterogeenisen ryhmän, jossa kuvantamisella on ratkaiseva rooli. Dilatoivassa kardiomyopatiassa LGE:n esiintyminen lisää kammioeräisten rytmihäiriöiden riskiä ja tukee ICD-hoidon harkintaa. Hypertrofisessa kardiomyopatiassa laaja fibroosi (yleensä $\geq 15\%$ vasemman kammion massasta) ja apikaaliset aneurysmat ovat merkittäviä riskitekijöitä äkkikuolemalle.

Sydänamyloidoosissa ultraäänikuvantaminen ja MK paljastavat tyypillisen seinämäpaksuuden lisääntymisen, diastolisen toimintahäiriön ja diffuusin LGE:n, mikä voi vaikuttaa sekä tahdistintarpeeseen että lääkehoidon valintaan. Sarkoidoosissa ja myokardiitissa kuvantaminen on keskeistä diagnoosin varmistamisessa ja immunosuppressiivisen hoidon aloittamisen arvioinnissa mutta myös ICD-indikaation määrittelyssä, vaikka LVEF olisi yli 35 %.

Tilanteet, joissa kuvantamislöydös muuttaa hoitolinjan

Kuvantaminen voi johtaa merkittävään hoitolinjan muutokseen. EF voi olla MK:ssa selvästi TTE:tä huonompi, etenkin hypertrofisissa kammioissa tai TTE-kuvan lyhentymän takia. Esimerkiksi potilaalla, jolle suunnitellaan pysyvää tahdistinta eteis-kammiokatkoksen vuoksi, MK:ssa todettu laaja arpikudos tai aktiivinen tulehdus voi muuttaa hoidon ICD:n asennukseksi. Samoin nuorella potilaalla todettu sarkoidoosi tai lamini A/C-kardiomyopatia (diagnoosi saadaan vasta geenitestistä, mutta kliininen kuva ja kuvantaminen voivat viitata sen suuntaan) puoltaa usein defibrillaattorin käyttöä pelkän tahdistimen sijaan.

Kuvantamislöydökset voivat myös johtaa spesifiseen perussairauden hoitoon, kuten amyloidoosilääkityksen tai immunosuppressiivisen hoidon aloittamiseen, mikä vaikuttaa potilaan pitkäaikaisennusteeseen. Akuutissa tulehduksessa ei pystytä arvioimaan sydämeen jäävän arven määrää, sillä LGE kerääntyy sekä akuuttiin että krooniseen vaurioon, elossa oleviin soluihin ja soluvälitilaan.

Johtojen sijoituksen vaikuttavat anatomiset erityispiirteet ja haasteet

Tahdistimia asentavan lääkärin on tunnettava normaali sydämen anatomia sekä tavallisimmat poikkeavuudet. Ongelmia johtojen asennuksessa voivat aiheuttaa vasen yläonttolaskimo, eteisväliseinäaukko, dekstrokardia, muut synnynnäiset sydänviat, oikean puolen lokeroiden voimakas laajentuminen, vaikea trikuspidaaliläpän vuoto ja trikuspidaaliläpän proteesi. Useimmiten nämä ongelmat on tunnistettu tahdistimen asennusta edeltävässä kuvantamisessa, mutta etenkin kiireellisten asennusten yhteydessä on usein käytettävissä vain suuntaantavat sydämen ultraäänitutkimuksen tulokset, ja osa anatomisista haasteista tulee yllätyksenä.

Vasen yläonttolaskimo

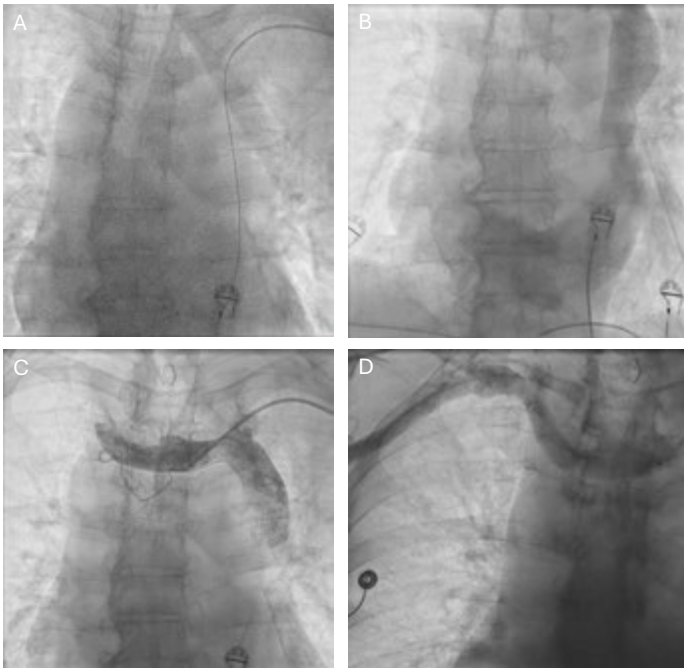
Persistoiva vasen yläonttolaskimo (PLSVC, *persistent left superior vena cava*) on harvinainen löydös tavallisessa väestössä (esiintyvyyys noin 0,5 %) mutta selvästi yleisempi synnynnäisten sydänvikojen yhteydessä (esiintyvyyys noin 10 %) (7). Useimmiten PLSVC:n lisäksi potilailla on myös normaali oikea yläonttolaskimo, mutta joskus oikea yläonttolaskimo voi puuttua kokonaan (8), jolloin ainoa reitti tahdistinjohdoille on PLSVC:n kautta (kuva 1). Monille potilaille on tehty aiemmin rintakehän alueen kuvantamista (TT tai MK), josta PLSVC olisi havaittavissa ennen tahdistintoimenpidettä (kuva 2). Radiologin lausunto saattaa kuitenkin keskittyä muihin tutkimuksen kannalta keskeisempiin asioihin, eikä PLSVC:tä tai muita anatomisia variaatioita ole aina mainittu.

Kun tahdistinjohtoja asennetaan punktiotekniikalla, on suositeltavaa punktoida kainalolaskimo ihon pinnalta ultraäänin avulla (9) ja tarkistaa ohjainvaijerin kulku läpivalaisulla ennen ihoviiltoa ja taskun tekemistä. Jos sitten havaitaan ohjainvaijerin kulkevan sydämen vasemmalla puolella, voidaan oikea kainalolaskimo kuvata varjoaineella. Useimmiten sieltä löytyy normaali reitti yläonttolaskimoon ja tahdistimen asennusta jatketaan oikealta puolelta. Jos PLSVC on ainoa reitti tai oikeaa puolta ei voida käyttää muista syistä johtuen, asennus tehdään vasemmalta. Silloin on syytä käyttää tavallista pidempää kammiojohtoa (kuva 3). Vasemman kammion johdon asentaminen PLSVC:n kautta on mahdollista, mutta vaikeaa (10). Samoin johtorata tahdistimen asennus PLSVC:n kautta on erittäin vaikeaa, mutta sekin on saatu onnistumaan (11).

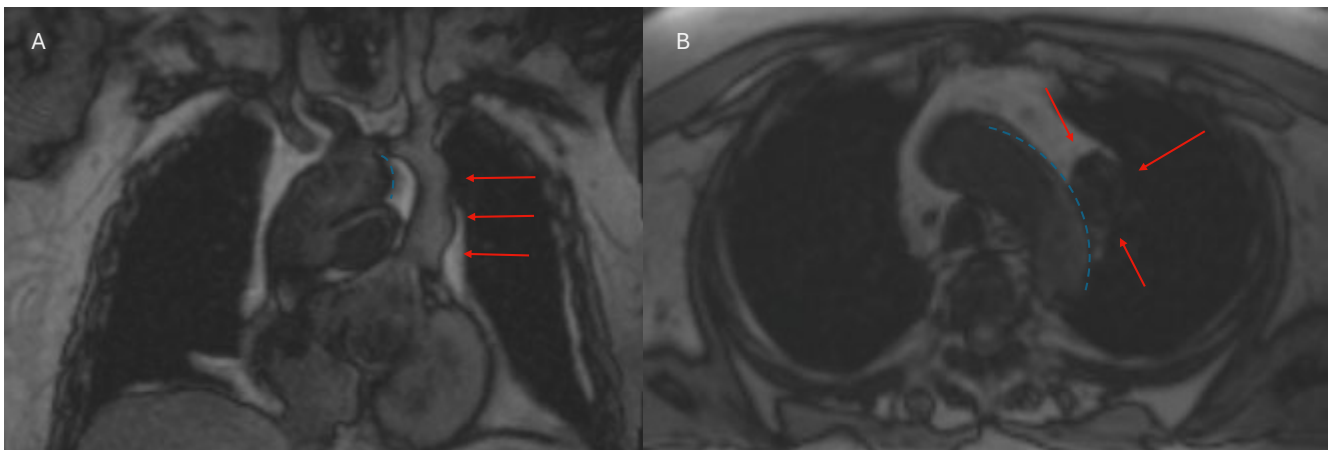
Eteisväliseinäaukko ja avoin soikea aukko

Eriytyypisiä eteisväliseinän aukkoja (ASD, *atrial septal defect*) tavataan kohtalaisen usein: vian esiintyvyyys on 2010-luvun tutkimusten perusteella 2,9/1 000 henkilöä (12). Avoin soikea aukko (PFO, *patent foramen ovale*) on noin 25 %:lla väestöstä. Etenkin kammiojohdon lipsahtaminen vahingossa eteisväliseinän läpi vasempaan eteiseen ja edelleen hiippaläpän läpi vasempaan kammioon on mahdollista. Epäily tästä voi syntyä läpivalaisun perusteella, mutta jos sydän on hyvin kookas, tämä ei ole aina yksiselitteisen helppoa. Diagnoosiin saatetaan päästä jälkikäteen erikoisen näköisen kammio tahdistuskompleksin vuoksi. Johdon joutuminen systeemiverenkierron puolelle on tärkeä havaita ja korjata, koska siihen voi liittyä embolian kehittyminen (13). Tämän komplikaation estämiseksi on aina suositeltavaa viedä kammiojohto kolmiliuskaläpän läpi prolapsiteknikkaa käyttäen eli isolla lenkillä läpän läpi muljauttaen.

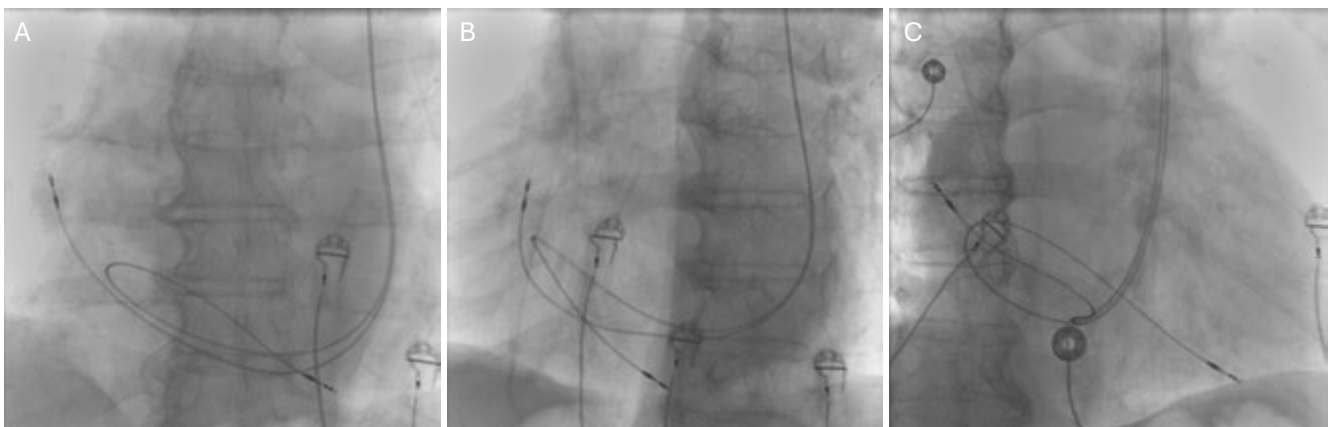




KUVA 1. Tahdistimen asennuksessa on punktoitu kainalolaskimo vasemmalta ja sitä kautta viety vaijeri sydämeen. Vaijerin kulku on tavanomaisesta poikkeava: se kulkee sydämen vasemmalla puolella sopien vasemmanpuoleiseen yläonttolaskimoon (A). Varjoaineruiskutuksessa varmistuu vasen yläonttolaskimo, joka tyyppilliseen tapaan laskee kookkaan sepellaskimon kautta oikeaan eteiseen (B). Tässä tapauksessa myös oikealle puolelle kulkee kookas laskimorakenne eikä pientä siltasuonta (C). Varjoaineruiskutus oikean kyynärtaiteen kautta vahvistaa, että potilaalla ei ole yläonttolaskimoa oikealla vaan kaikki laskimopaluu yläruumiista kulkee kookkaan vasemmanpuoleisen yläonttolaskimon kautta (D).



KUVA 2. Kuvan 1 potilaalle oli vuosia aiemmin tehty sydämen MK. Vasemmanpuoleinen yläonttolaskimo näkyy koronaalisuunnan (A) ja aksiaalisuunnan leikkeissä (B). Vasen yläonttolaskimo (punaiset nuolet) kulkee aortan kaaren (sininen katkoviiva) vasemmalla puolella. Tavallisesti tässä sijainnissa ei näy suuria suonia.



KUVA 3. Tahdistinjohdot kulkevat vasemman yläonttolaskimon kautta oikeaan eteiseen ja oikeaan kammioon. Johtojen sijainti toimenpiteen lopussa kuvattuna AP-suunnasta (A), LAO-suunnasta (B) ja RAO-suunnasta (C). Kammiojohton on oltava tavanomaista pidempi, jotta se ulottuu mutkien kautta kammioon. Sama potilas kuin kuvassa 1.



KUVA 4. Tahdistinjohdojen kulku eteistunneloinnin jälkeen (Mustardin leikkaus). Tässä tapauksessa tahdistin on asennettu oikealta, mutta asennus vasemmalta onnistuu yhtä hyvin. Eteisjohto on ruuvattu ohjainkateetrin avulla eteisen kattoon ja kammiojohto subpulmonaalikammiona toimivaan vasempaan kammioon kammioväliseinään tähdäten.

Tärkeää on myös tuntea johdon normaali kulku eri läpivalaisu-suunnissa (14).

Dekstrokardia

Dekstrokardia on harvinainen rakennepoikkeavuus (1/12 000 raskautta) (15). Siihen voi yhdistyä muita rakennepoikkeavuuksia, kuten synnynnäisesti korjaantunut suurten suonten transpositio, joten huolellinen perehtyminen kuvantamislöydöksiin on tarpeen ennen laiteasennusta (16). Asennuksen aikana voi olla hyödyllistä kääntää röntgenläpivalaisu kuva peilikuvakseen helpottamaan kuvien tulkintaa – etenkin, jos kyseessä on vajaatoimintatahdistimen asennus (17).

Muut synnynnäiset sydänviat

Synnynnäiset rakennepoikkeavuudet vaikuttavat tahdistinjohdojen asennukseen monella tavalla. Tärkeää on perehtyä anatomiaan huolella ennen asennusta. Näiden potilaiden tahdistinasennukset on pitkälti keskitetty Husiin, mikä on järkevää toimenpiteiden harvinaisuuden vuoksi. Eteistunneloiduilla potilailla (Senningin tai Mustardin leikkaus) on oleellista varmistaa tunneleiden avoimuus TT:llä, ja tarvittaessa tehdään tunnelin pallolaajennus sekä stenttaus ennen tahdistimen asennusta. Vasen kammio toimii näillä potilailla subpulmonaalikammiona. Kammiojohto asennetaan tavallisesti septumiin tähdäten, ja eteisjohton asennuksessa toimivaksi ratkaisuksi on todettu lumenittoman johdon asentaminen ohjainkateetrin avulla (kuva 4). Kokemusta johtoratahdistuksesta synnynnäisen sydänvian yhteydessä on melko vähän, mutta onnistuneita asennuksia on kuitenkin raportoitu (18).

Trikuspidaaliläpän ongelmat ja oikean puolen lokeroiden suurentuminen

Vaikea trikuspidaaliläpän vuoto ja korkea oikean kammion paine voi hankaloittaa kammiojohton asennusta. Usein johdoton tahdistin on hyvä vaihtoehto, mutta jos se ei sovellu, suositeltavaa on käyttää johtoratahdistinjohdon asennukseen tehtyjä ohjainkateetrejä, joilla johto on yleensä helpompi saada tukevasti sydänlihasta vasten. ICD-johto voidaan tarvittaessa viedä oikeaan kammioon vasemman kammion johdon asennukseen tarkoitetulla ohjainkateetrilla, jos muuta sopivaa kateetria ei ole saatavilla. Suuri oikea eteinen vaikeuttaa johtoradan vasemman haaran (LBB) tahdistusta, sillä riittävän pitkäl-

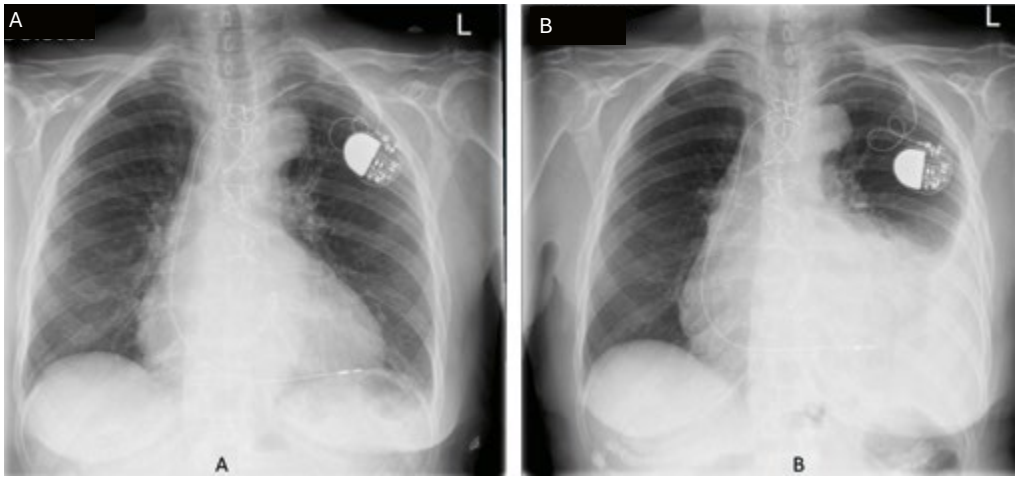
le oikeaan kammioon voi olla vaikea ulottua pisimmälläkään ohjainkateetrilla. Näissä tapauksissa voidaan poikkeuksellisesti käyttää solislaskimon punktiota, jotta ulottuvuutta saadaan lisää. Komplikaatoriskin minimoimiseksi on suositeltavaa valita mikropunktiosetti. Trikuspidaaliläppäproteesin läpi ei suositella vietäväksi johtoa, vaan ensisijaisesti harkittavaksi tulevat johdoton tahdistin tai kammiojohton sijoittaminen sepellaskimoon, jolloin kannattaa valita etuseinän haara palleahermon ärsytyksen minimoimiseksi (19). TriClip-toimenpiteen jälkeen tahdistimen asennus on mahdollinen, mutta suositeltavaa on käyttää ruokatorviultraääniohjausta asennuksen aikana (20).

Tahdistinkomplikaatioiden diagnostiikka kuvantamisella

Kuvantamisella on keskeinen rooli tahdistinkomplikaatioiden tunnistamisessa, erotusdiagnoosissa ja hoidon ohjaamisessa. Keuhkokuva ja TTE ovat tärkeimmät ensilinjan kuvantamismenetelmät, joita tietokonetomografia (TT) ja isotooppikuvantaminen täydentävät valikoiduissa tilanteissa.

Perforatio ja tamponaatio

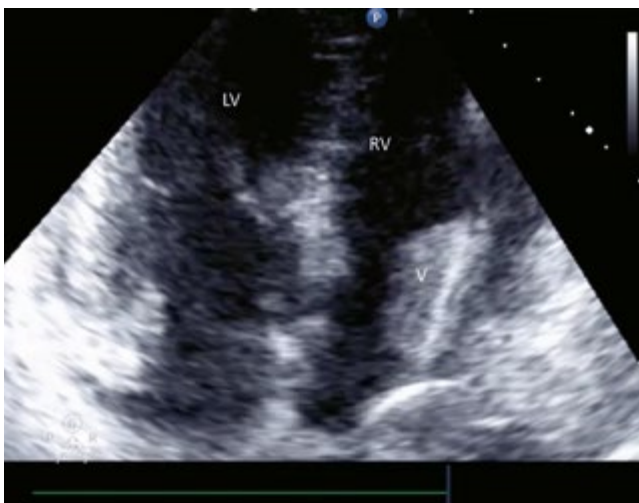
Tahdistinjohdon aiheuttama seinämäperforaatio voi ilmetä rintakipuna, tahdistushäiriönä (esim. *loss of capture*, tunnistushäiriö) tai tamponaatioon liittyvin oirein. Johdojen sijaintia arvioidaan ensisijaisesti keuhkokuvesta, jota verrataan asennuksen aikaiseen läpivalaisu kuvaan (kuva 5). Aiemmasta nopeasti suurentunut sydänvarjo voi viitata perikardiumeffuusion. Ellei johto ulotu selvästi sydänvarjon ulkopuolelle, keuhkokuuvan herkkyys perforaation toteamisessa on heikko. Useimmiten tilaan liittyy perikardiumeffuusio, jonka toteamiseksi TTE on ensisijainen tutkimus ja vahvistaa diagnoosin (kuva 6). On hyvä muistaa, että hyytyessään perikardiumiin vuotanut veri muuttuu ulkonäöltään kirkasta nestettä runsaskaikuisemmaksi. Johdon kärjen perforoitumista perikardiumiin voi olla vaikea havaita, mutta kammiojohtimen sijainti ohuilla seinämäalueilla oikean kammion kärjessä tai vapaassa seinämässä voi tukea epäilyä. Joskus TEE voi auttaa selvittämään vakaan potilaan tilanteen, mutta ensisijainen jatkokuvantamismenetelmä on TT. Sen avulla voidaan havaita sydämen seinämän perforoiva johto, mutta liike- sekä tahdistinjohdon kärjen metalliruuvi- tai aiheutuva artefakti voi hankaloittaa arviota. EKG-tahdistus



KUVA 5. A) Keuhkokuva tahdistimen asennuksen jälkeen. Kammiojohdon kärjen sijainti varsin lateraalisesti vasemmalla. B) Suurentunut sydänvarjo merkinä runsaasta perikardiumeffuusiosta (hemoperikardium) ja pleuranestettä (hemothorax) vasemmalla. Johto oli perforoitunut vasempaan pleuratiltaan.



KUVA 6. Transtorakaalinen sydämen ultraäänikuvaus, jossa havaitaan runsas perikardiumeffuusio (*) ja oikean kammion (RV) kasaan painuminen tamponaation merkinä. Kyseessä sama potilas kuin kuvassa 5.



KUVA 7. Transtorakaalinen sydämen ultraäänitutkimus, jossa todetaan kookas vegetaatio (V) oikean kammion (RV) johtoon kiinnittyneenä *Staphylococcus Aureuksen* aiheuttaman tahdistininfektion yhteydessä.

vähentää liikeartefaktia TT-kuvissa. Metalliartefaktin vähentämiseksi on olemassa jälkikäsitteilyalgoritmeja, jotka parantavat TT-kuvanlaatua, mutta nämäkään eivät poista artefakteja kokonaan. LBB-tahdistukseen voi liittyä johdon perforoituminen kammioväliseen läpi vasempaan kammioon, jonka tunnistamisessa tärkein kuvantamismenetelmä on TTE. On kuitenkin hyvä tuntee TTE:n rajoitteet ja etenkin sivukeilalarha (21). Mikäli vain johdon kärki/helix on perforoinut vähäisesti ja toiminta on pysynyt normaalina, löydös ei edellytä jatkotoimia.

Ilmarinta

Ilmarinta eli pneumothorax on tyypillinen varhainen komplikaatio erityisesti solislaskimon punktion jälkeen. Keuhkokuva on ensilinjan tutkimus, jolla ilmarinta ja sen laajuus todetaan luotettavasti. TT:tä tarvitaan harvoin, mutta se voi olla hyödyllinen pienien tai epätyypillisten ilmarintojen havaitsemisessa.

Johdon dislokaatio

Johdon dislokaatio voi aiheuttaa tahdistus- tai tunnistusongelmia tai rytmihäiriöitä. Keuhkokuva on keskeinen tutkimus, jossa johtojen sijaintia verrataan aiempiin kuviin. TTE täydentää arviota kammio toiminnan ja mahdollisten mekaanisten seurausten osalta. Kuvantaminen yhdistetään aina laitteen tekniiseen tarkastukseen.

Infektio ja endokardiitti

Tahdistininfektio voi rajoittua tahdistintaskuun tai ilmetä missä tahansa intravaskulaarisessa tai intrakardiaalisessa osassa. Tahdistintaskun nestekertymä voidaan havaita ultraäänitutkimuksella tai tietokonekuvauksen yhteydessä. Endokardiitin tunnistamisessa TTE on ensivaiheen tutkimus (kuva 7), mutta TEE on herkempi vegetaatioiden toteamisessa, ja sitä suositellaan tehtäväksi vahvan tahdistininfektioepäilyn yhteydessä (22). PET-TT on hyödyllinen erityisesti johtoinfektioiden diagnostiikassa, kun vegetaatioita ei havaita kaikututkimuksessa. Tuoreiden implantaatioiden yhteydessä väävät positiiviset löydökset on toki huomioitava. TT:tä voidaan hyödyntää lähinnä laajojen tromboottis-infektiivisten massojen, absessien ja keuhkojen septisten embolusten toteamisessa. On hyvä muistaa, että tahdistinjohtoihin muodostuu usein ohuita fibriinisäikeitä, jotka eivät automaattisesti ole merkki endokardiitista. Kuvantamisen lisäksi tahdistininfektioissa tarvitaan laborato-

riodiagnostiikkaa, tärkeimpänä toistettu veriviljelyiden kerääminen.

Trikuspidaalivuoto

Tahdistinjohto voi häiritä trikuspidaaliläpän normaalia toimintaa aiheuttaen tai pahentaen trikuspidaalivuotoa (19). Mekanismina voi olla johdon aiheuttama läppälehdän mekaaninen estyminen, jännerihmojen vaurio tai venyntyminen, läppälehdän perforaatio tai läppärenkaan venyminen. Vuoto voi kehittyä vähitellen ja johtaa sydämen oikean puolen vajaatoiminnan oireisiin. TTE on ensisijainen kuvantamismenetelmä vuodon asteen, mekanismin ja hemodynaamisen merkityksen arvioinnissa. Dopplerkuvantamisella määritetään vuodon vaikeusaste ja oikean kammion kuormitus. TEE tarjoaa lisäarvoa erityisesti tilanteissa, joissa TTE:n kuvanlaatu on rajoittunut tai kun epäillään johdon suoraa interaktiota läppärakenteiden kanssa. Kuvantaminen on keskeistä hoitolinjan määrittelyssä ja arvioitaessa tahdistinjohtoon kohdistuvien toimenpiteiden tai vaihtoehtoisten tahdistusstrategioiden tarvetta.

Trombit ja laskimotukokset

Tahdistinjohtoon ympärille voi kehittyä trombeja, jotka ovat usein oireettomia mutta voivat embolisoitua. Tahdistinjohtojen reitti voi tukkeutua trombosoitumisen seurauksena. Oireinen tukos voidaan todeta yläraajan laskimoiden ultraäänitutkimuksella. Harvinaiset intrakardiaaliset trombit voidaan yleensä todeta TTE- ja TEE-tutkimuksilla, mutta myös sydämen TT-tutkimusta voidaan hyödyntää. TT-kuvausta käytetään lisäksi keuhkoembolian tai laajemman laskimotromboosin epäilyssä. Myös vena cava superior oireyhtymän mahdollisuus tulee muistaa, mikäli yläonttolaskimossa on poikkeuksellisen monta johtoa (yleensä > 5) tai potilaalle on tehty aikaisemmin ekstraktioimenpiteitä.

Tahdistinmyopatia

Runsas perinteinen kammio tahdistus voi aiheuttaa sähköisen ja mekaanisen dyssynkronian ja johtaa vasemman kammion vajaatoimintaan. TTE on ensisijainen kuvantamismenetelmä, ja siinä todetaan EF:n lasku sekä vasemman kammion dyssynkroniaan viittaavia löydöksiä, kuten kammioväliseinän ennenaikainen nykäys (*septal flash*) ja/tai kärkikeinunta (*apical rocking*). Diagnoosi perustuu kliinisen kokonaiskuvan, suuren tahdistusosuuden ja kuvantamislöydösten yhdistämiseen sekä muiden vajaatoiminnan syiden poissulkuun.

Sydämentahdistinpotilaan magneettikuvaus – turvallisuus ja nykyiset käytännöt

Sydämentahdistinta on aikaisemmin pidetty MK:n vasta-aiheena, mutta nykyään tahdistin estää kuvauksen vain harvoin, kun turvallisuustoimintamallia noudatetaan (23).

Tahdistinpotilaan MK:n turvallisuusarviossa keskeistä on selvittää täsmälliset laitetiedot (tyyppi, malli, johdot). Valtaosa nykyään asennettavista tahdistinjärjestelmistä on ehdollisesti MK-yhteensopivia (MR conditional), jolloin MK voidaan valmistajan ohjeen mukaan suorittaa valmistajan määrittämiä rajoituksia (esim. kenttävoimakkuus, SAR-rajat) noudattaen. Vanhemmat tahdistinjärjestelmät sekä potilaat, joilla on esim. hylättyjä, rikkoutuneita tai epikardiaalisia tahdistinjohtoja, eivät ole valmistajan mukaan MK-yhteensopivia (non MR conditio-

nal). Näissäkin tapauksissa MK voidaan usein suorittaa ja haittatapahtumat ovat harvinaisia, mutta MK:n turvallisuusarvio tulee tehdä aina yksilöllisesti.

Husin toimintamallissa (kuva 8) radiologi arvioi lähetteen perusteella, onko MK kliiniseen kysymykseen paras kuvantamismenetelmä. Kuvauspäivänä kardiologi tarkistaa laitteen ja arvioi, soveltuuko tahdistinjärjestelmä magneettikuvaukseen, sekä ohjelmoi tahdistimen MK-tilaan. Erityinen varovaisuus on tarpeen, jos potilaalla on hylättyjä tai vaurioituneita johtoja tai kirurgisesti asennetut epikardiaaliset johdot – nämä ryhmät vaativat usein moniammatillisen, tapauskohtaisen MK:n riski-hyötyarvion. Epäselvissä tilanteissa aiemmat sairauskerromukset, tahdistinrekisterit sekä koko rintakehän ja tahdistinjärjestelmän kattava thoraxin röntgenkuvaus ovat käytännöllisiä ja edullisia apuvälineitä tahdistinpotilaan MK:n turvallisuusarviossa.

MK:n ajaksi tahdistinriippuvaiselle potilaalle valitaan yleensä pakkotahdistus. Ei-tahdistinriippuvaisella potilaalla tahdistus voidaan kytkeä pois päältä tai VVI-moodiin MK:n ajaksi. Rytmihäiriötahdistimesta kytketään iskuhoidot pois kuvauksen ajaksi, jotta sähkömagneettinen häiriö ei laukaise aiheutonta terapiaa. MK:n aikana potilasta valvotaan EKG-seurannalla, pulssioksimetrillä sekä kamera- ja puheyhteydellä. Kuvauksen jälkeen tahdistin tarkastetaan ja asetukset palautetaan.

Haittatapahtumat ovat harvinaisia, kun turvallisuustoimintamallia noudatetaan. Laiteparametreihin voi tulla muutoksia, jotka ovat tavallisesti vähäisiä ja hoidettavissa tahdistimen uudelleenohjelmoinnilla. Tahdistinjärjestelmän välitön uusimistarve MK:n jälkeen on hyvin poikkeuksellista. Tahdistimen aiheuttamat artefaktit ovat arjessa tavallinen haaste: generaattori ja johdot voivat vääristää kuvia, erityisesti kun kohdealue on lähellä laitteen sijaintia (esim. sydämen MK). Artefakteja voidaan lieventää kuvausasetusta muuttamalla (vasen yläraaja kohotettuna), sekvenssivalinnoilla ja kuvausparametreilla, mutta joskus MK:n korvaaminen vaihtoehtoisella kuvantamismenetelmällä on tarkoituksenmukaisempaa (24).

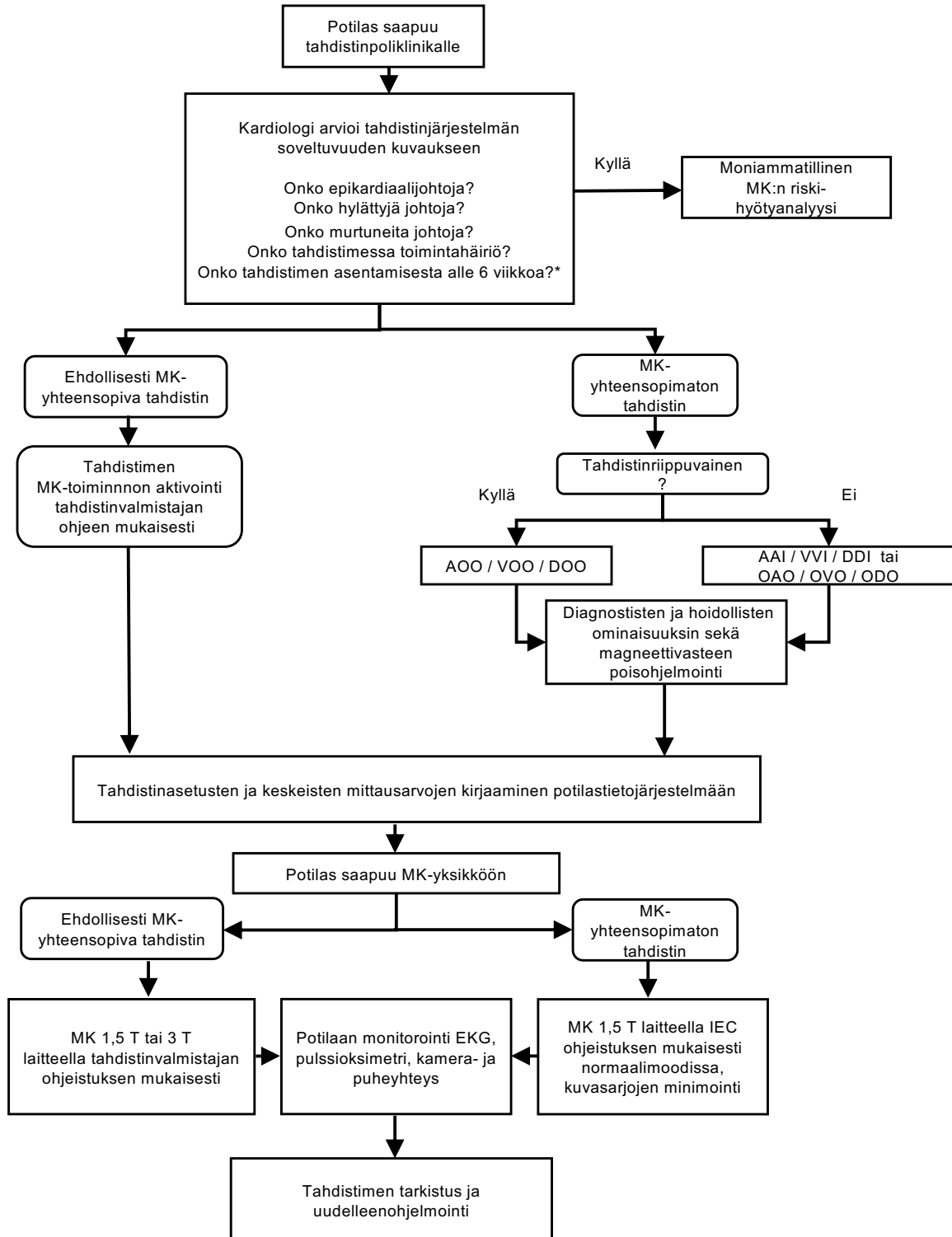
Teknologia kehittyi nopeasti. Markkinoille on tullut tahdistimia, jotka tunnistavat magneettikentän ja siirtyvät automaattisesti sopivaan tahdistustapaan – osassa laitteista automatiikka voidaan aktivoida pysyvästi. Nämä innovaatiot voivat sujuvoittaa työnkulkua ja keventää tahdistinpoliikkien kuormaa. Automatiikan hyödyntämisestä ei ole vielä laajaa käyttökokemusta tai vakiintuneita käytäntöjä.

Selkeät paikalliset ohjeet, moniammatillinen yhteistyö ja säännöllinen koulutus varmistavat, että tahdistin ei tarpeettomasti estä tai viivästyä MK:ta.

Lopuksi

Sydänkuvantaminen on keskeinen osa kokonaisvaltaista hoitoa ennen tahdistinlaitteen asennusta, laiteasennuksen aikana, komplikaatioiden diagnosoinnissa ja potilaan myöhemmässä seurannassa. Teknologian ja kuvantamismenetelmien kehityksessä yhteistyö kardiologien, radiologien ja kliinisten fysiologien välillä korostuu entisestään. Tahdistinpotilaan kuvantamisen tärkein tehtävä on varmistaa potilaalle oikea hoito oikeaan aikaan. ■





KUVA 8. Husin tahdistinpotilaan magneettikuvantamisen toimintamalli.

* Suurin osa tahdistinvalmistajista edellyttää kuuden viikon odotusaikaa asennuksesta magneettikuvaukseen. Tutkimuksissa ei kuitenkaan ole havaittu merkittäviä haittatapahtumia, vaikka kuvaus olisi tehty tätä aiemmin.

MK = magneettikuvaus; AOO/VOO/DOO = tahdistimen asynkroniset tahdistustavat eteis-, kammio- tai eteis-kammio tahdistukselle (ns. pakkotahdistus);

AAI/VVI/DDI = AAI tahdistaa ja tunnistaa eteistä, VVI tahdistaa ja tunnistaa kammiota, DDI tahdistaa ja tunnistaa eteistä ja kammiota mutta ei tahdistaa kammiota eteisohjatuksi; OAO/OVO/ODO = tahdistuksen estävät tahdistustavat eteis-, kammio- tai eteis-kammio tahdistukselle (tahdistus pois päältä); IEC = International Electrotechnical Commission.

Julkaistaan uudelleen Lääkärilehden luvalla artikkelista Vuorinen A-M, Karvonen J, Holmström M, Kaasalainen T. Onko sydämentahdistinpotilaan magneettikuvaus turvallista? Suom Lääkäril 2024;79:e40059.

Viitteet

1. Stankovic I, Voigt JU, Burri H, ym. Imaging in patients with cardiovascular implantable electronic devices: part 1-imaging before and during device implantation. A clinical consensus statement of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) and the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023;25(1):e1–e32.
2. Stankovic I, Voigt JU, Burri H, ym. Imaging in patients with cardiovascular implantable electronic devices: part 2-imaging after device implantation. A clinical consensus statement of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) and the European Heart Rhythm Association (EHRA) of the ESC. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2023;25(1):e33–e54.
3. Glikson M, Nielsen JC, Kronborg MB, ym. 2021 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J*. 2021;42(35):3427–3520.
4. Glikson M, Burri H, Abdin A, ym. European Society of Cardiology (ESC) clinical consensus statement on indications for conduction system pacing, with special contribution of the European Heart Rhythm Association of the ESC and endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society, the Canadian Heart Rhythm Society, the Heart Rhythm Society, and the Latin American Heart Rhythm Society. *Europace*. 2025;27(4):euaf050.
5. Tolppanen H. Johtoratahdistus sydämen vajaatoiminnan hoidossa. *Sydänääni* 2025; 36(3): 328–334.
6. Chung ES, Leon AR, Tavazzi L, ym. Results of the Predictors of Response to CRT (PROSPECT) trial. *Circulation*. 2008;117(20):2608–2616.
7. Buirski G, Jordan SC, Joffe HS, ym. Superior vena caval abnormalities: their occurrence rate, associated cardiac abnormalities and angiographic classification in a paediatric population with congenital heart disease. *Clin Radiol*. 1986;37(2):131–138.
8. Kumar S, Moorthy N, Kapoor A, ym. A challenging dual chamber permanent pacemaker implantation in persistent left superior vena cava with absent right superior vena cava. *J Cardiol Cases*. 2012;5(2):e122–e124.
9. Rissanen T. Ultraääniohjattu v. axillarispunktio pysyvän tahdistimen asennuksessa. *Sydänääni* 2012; 23(3): 32–36.
10. Akdis D, Vogler J, Sieren MM, ym. Challenges and pitfalls during CRT implantation in patients with persistent left superior vena cava. *J Interv Card Electrophysiol*. 2024;67(7):1505–1516.
11. Bulava A, Sitek D, Tesařík J. Left bundle branch area pacing via persistent superior vena cava: A case report. *HeartRhythm Case Rep*. 2024;10(8):586–590.
12. Muroke V. Eteisväliseinäaukko aikuisväestössä. *Sydänääni* 2020; 31 (2): 139–143.
13. Contractor T, Co ML, Cooper JM, ym. Management of inadvertent lead placement in the left ventricle via a patent foramen ovale: A multidisciplinary approach. *HeartRhythm Case Rep*. 2019;6(2):89–93
14. Oikarinen L, Pakarinen S. Tahdistimen asennus. *Sydänääni* 2012; 1A: 3–14.
15. Bohun CM, Potts JE, Casey BM, ym. A population-based study of cardiac malformations and outcomes associated with dextrocardia. *Am J Cardiol*. 2007;100(2):305–309.
16. Shenthar J, Rai MK, Walia R, ym. Transvenous permanent pacemaker implantation in dextrocardia: technique, challenges, outcome, and a brief review of literature. *Europace*. 2014;16(9):1327–1333.
17. Raatikainen P, Marjamaa A, Tolppanen H, ym. Single catheter ablation of atrioventricular node in a patient with dextrocardia and permanent atrial fibrillation via peripheral vascular access using remote magnetic navigation: a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2024;8(10):ytat510.
18. Cano Ó, Moore JP. Conduction System Pacing in Children and Congenital Heart Disease. *Arrhythm Electrophysiol Rev*. 2024;13:e19.
19. Andreas M, Burri H, Praz F, ym. Tricuspid valve disease and cardiac implantable electronic devices. *Eur Heart J*. 2024;45(5):346–365. doi:10.1093/eurheartj/ehad783.
20. Tuohinen S, Aro A, Karvonen J. Trans-oesophageal echocardiography-guided implantation of a cardiac resynchronization therapy pacemaker and successful ablation of the atrioventricular node after TriClip: case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2023;7(11):ytad494.
21. Özpak E, Van Overmeiren T, Timmermans F, ym. Side Lobe Artifacts Mimicking False Micro-Perforations. *JACC Clin Electrophysiol*. 2025;11(8):1883–1884.
22. Delgado V, Ajmone Marsan N, ym. 2023 ESC Guidelines for the management of endocarditis. *Eur Heart J*. 2023;44(39):3948–4042.
23. Vuorinen AM, Karvonen J, Holmström M, ym. Onko sydämentahdistinpotilaan magneettikuvaus turvallista? *Suom Lääkäril*. 2024;79:e40059.
24. Vuorinen AM, Lehmonen L, Karvonen J, ym. Reducing cardiac implantable electronic device-induced artefacts in cardiac magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 33, 1229–1242 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09059-w>

Sidonnaisuudet

- Jarkko Karvonen: luentopalkkio (Abbott, Biotronik, Boston Scientific, Medtronic, Suomen Kardiologinen Seura), luottamustoimi (puheenjohtaja Suomen Kardiologinen Seura/rytmikardiologian jaos, jäsen European Heart Rhythm Association/Scientific Initiatives Committee).
- Heli Tolppanen: luentopalkkio (Abbott, Biotronik, Suomen Kardiologinen Seura).
- Harri Silvola: luentopalkkio (Medtronic, Suomen Kardiologinen Seura), tukea työnantajan määräämiin ammatillisiin koulutuksiin (Boston Scientific), tutkimusrahoitus (Biotronik).
- Aino-Maija Vuorinen: luentopalkkio (Suomen Kardiologinen Seura, Suomen Radiologiyhdistys, Suomen Röntgenhoitajat), osakkeet (Osgenic Oy).

Toimenpidekuvantaminen katetriteitse tehtävissä läppätoimenpiteissä

Marko Virtanen, LT, kardiologian erikoislääkäri, Tays Sydänsairaala
Jarkko Piuhola, LT, dos., kardiologian erikoislääkäri, Oys Sydän
Kari Kervinen, LT, dos., kardiologian erikoislääkäri, Oys Sydän
Helena Rajala, LT, dos., kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus,
Antti Saraste, professori, Turun yliopisto, ylilääkäri, Tyks Sydänkeskus
Suvi Tuohinen, LT, dos., kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus
Mikko Jalanko, LT, dos., kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus

Tiivistelmä

Katetriteitse tehtävien rakenteellisten sydänvikojen korjaustoimenpiteisiin liittyy merkittävää kuvantamisen tarvetta niin ennen toimenpidettä, toimenpiteen aikana kuin toimenpiteen jälkeenkin ja jatkoseurannassa. TAVI-toimenpiteissä (*transcatheter aortic valve implantation*) TT-kuvaus on olennainen toimenpiteen suunnittelussa, ja toimenpiteen aikana tarvitaan lähinnä läpivalaisua ja rintakehän päältä tehtävää ultraäänikuvantamista. Mitraali- ja trikuspidaaliläpän klipsihoidon yhteydessä tärkein kuvantamismenetelmä sekä toimenpidettä edeltävästi että sen aikana on ruokatorven kautta tehtävä ultraäänitutkimus. Muita kuvantamismodaliteetteja voidaan tarvita läppävikojen yhteydessä toimenpiteen suunnittelussa ja mahdollisten komplikaatioiden diagnosoimisissa.

Johdanto

Rakenteellisten sydänvikojen katetriteitse tehtävistä korjauksista selvästi yleisimpiä ovat TAVI-toimenpiteet, joiden vuosittainen määrä Suomessa ylittää tuhat kappaletta. Eteis-kammio-läppien vuotojen korjaukset, ASD:n ja PFO:n, eteiskorvak-

TAVI-toimenpiteissä (*transcatheter aortic valve implantation*) TT-kuvaus on olennainen toimenpiteen suunnittelussa, ja toimenpiteen aikana tarvitaan lähinnä läpivalaisua ja rintakehän päältä tehtävää ultraäänikuvantamista.

keen sekä paravalvulaarivutojen sulkutoimenpiteiden määrät ovat vähäisempiä, mutta niillä on kuitenkin vakiintunut asema hoitomuotoina. Kussakin toimenpiteessä kuvantamiseen liittyy omat erityispiirteensä, joiden tunteminen on olennaista hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Siksi toimenpidekuvantajan rooli on olennainen kaikissa edellä mainituissa toimenpiteissä TAVIa lukuun ottamatta. Myös jo diagnostiikkavaiheessa olisi hyvä pyrkiä saamaan systemaattinen ja tarkka kuvaus vian luonteesta. Tämä katsausartikkeli on rajattu käsittelemään kuvantamista katetriteitse tehtävissä läppätoimenpiteissä.

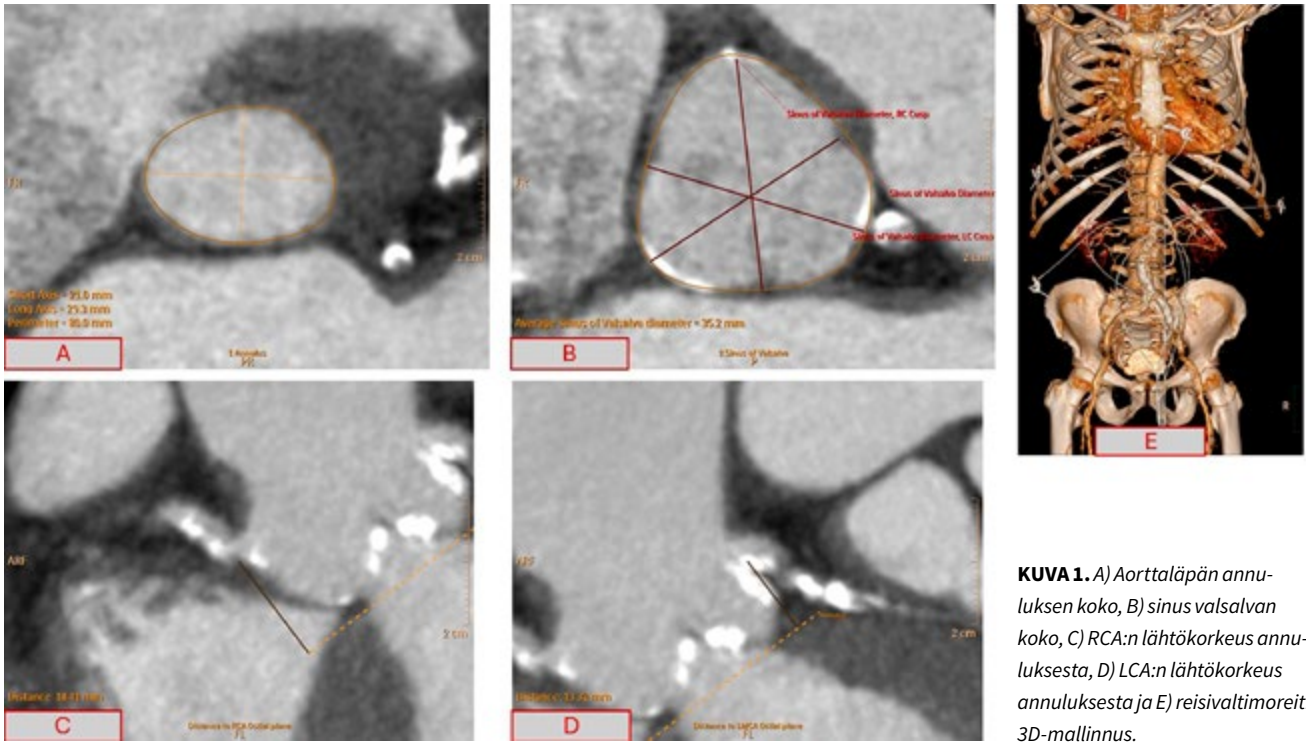
Kuvantaminen TAVI-toimenpiteessä: ennen, aikana ja jälkeen

Preoperatiivinen kuvantaminen

TAVI-toimenpidettä edeltävässä kuvantamisessa kaikukardiografia on keskeinen hoitoa vaativan aorttaläppävian diagnostiikassa. Samalla arvioidaan vasemman kammion systolinen ja diastolinen toiminta, mahdolliset mitraaliläpän viat, sydämen oikean puolen toiminta sekä pulmonaalipaine.

TAVI-toimenpiteen suunnittelussa varjoainetehosteinen tietokonetomografia (TT) on välttämätön kuvantamistutkimus ennen toimenpiteeseen ryhtymistä. TT-kuvaus tehdään sydämen ja aortan tyven alueelta tahdistettuna siten, että kuvaus kattaa systolisen vaiheen (esim. 20–40 % RR-välistä) ja mielellään myös diastolisen vaiheen. Tahdistetun sarjan ohella kuvataan tahdistamaton sarja vartalon ja lantion alueelta siten, että kuvausalue kattaa koko aortan, lantiovaltimot ja proksimaaliset reisivaltimot (1). Radiologi antaa kuvauksesta yleislausunnon, jonka hoitava lääkäri tarkistaa ja ohjelmoi tarvittaessa esimerkiksi sattumalöydösten lisätutkimukset.

Tavallisesti toimenpidelääkäri tekee itse TT-kuvauksesta toimenpiteen kannalta tarvittavat mittaukset (kuva 1A–D). Tahdistetusta TT-sarjasta mitataan aorttaläpän annuluksen, LVOT:n ja aortan tyven koko sekä arvioidaan läpän asennukseen mahdollisesti vaikuttavien kalkkiutumien esiintymistä. Toimenpiteen aikaista sepelvaltimokierron tukkeutumisen ris-



KUVA 1. A) Aorttaläpän annuluksen koko, B) sinus valsalvan koko, C) RCA:n lähtökorkeus annuluksesta, D) LCA:n lähtökorkeus annuluksesta ja E) reisivaltimoreitin 3D-mallinnus.

kiä arvioidaan määrittämällä sepelvaltimoiden lähtökorkeudet annulustasosta sekä sinus valsalvan koko. TT:stä on myös toisinaan tunnistettavissa löydöksiä, jotka ennakoivat tiettyjen muiden komplikaatioiden suurentunutta riskiä. TT:stä saadaan määritettyä läpivalaisulaitteen oikeat työskentelyprojektiot. Saatujen mittaustulosten sekä potilaan yksilöllisten ominaisuuksien perusteella toimenpidelääkäri valitsee käytettävän tekoläpän koon ja mallin. Tällä hetkellä käytössä olevat TAVI-tekoläpät kattavat ainakin annuluskoot 18–30 mm. Tahdistamattomasta TT-sarjasta arvioidaan aortan sekä lantio- ja reisivaltimoiden mutkaisuus, kalkkeutumia ja suoniluumenin koko (kuva 1E). Tekoläpän asennus reisivaltimoreitin kautta on tavallisesti mahdollinen lantio-reisivaltimon halkaisijan ollessa 5,0 mm tai suurempi. Tarvittaessa TT:stä arvioidaan vaihtoehtoinen toimenpidereitti (esim. solisvaltimo).

Intraoperatiivinen kuvantaminen

Kuvantamisen rooli varsinaisen TAVI-toimenpiteen aikana on yleensä rajallinen. Toimenpide tehdään läpivalaisussa, ja tekoläppä asennetaan haluttuun korkeusasemaan aortan tyven varjoainekuvauksen avulla (kuva 2A). Aorttografian avulla myös arvioidaan mahdollista paravalvulaarivuodon vaikeusastetta läpän asennuksen jälkeen (kuva 2B). Tietyissä lehydykköjen muokkaustoimenpiteissä, kuten BASILICA- ja UNICORN-tekniikoissa, transesofageaalinen kaikukuvaus (TEE) auttaa varmistamaan instrumentaation oikean sijainnin ja toimenpiteen turvallisuuden. Muutoin rutiininomaisessa TAVI-asennuksessa transthorakalista kaikukuvausta (TTE) voidaan käyttää akuuttien komplikaatioiden tunnistamiseen (esimerkiksi perikardiumeffuusio) sekä toimenpiteen lopussa paravalvulaarivuodon arviointiin ja mahdollisen jälkilaajennuksen tarpeen määrittelyyn.

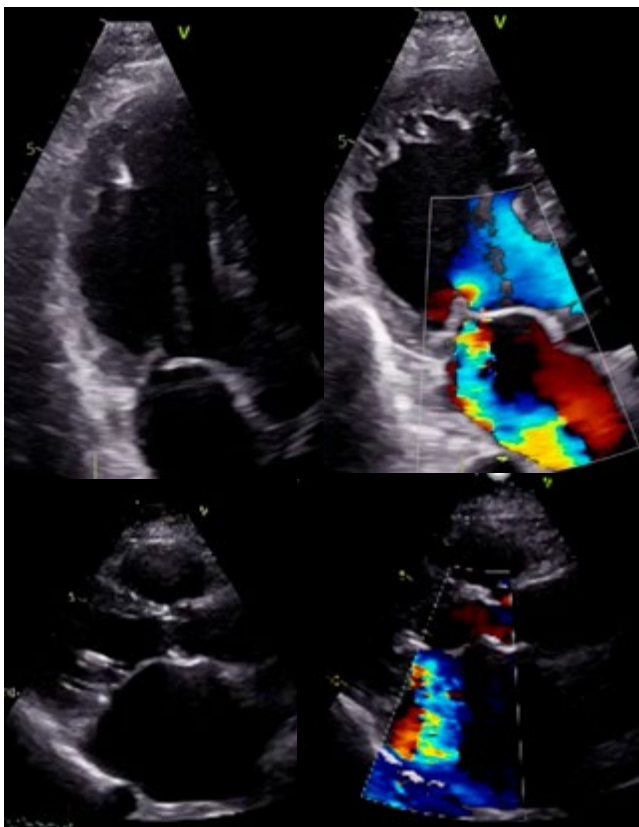


KUVA 2. A) Tekoläpän aseointi läpivalaisussa varjoainekuvauksen avulla sekä B) tekoläpän aseman ja aorttaläpänvuodon arviointi läpän asennuksen jälkeen.

Mitraaliläpän rakenteen huolellinen tutkiminen ruokatorven kautta tehtävällä ultraäänitutkimuksella on tärkeää potilasvalinnan ja hoidon onnistumisen kannalta.

Postoperatiivinen seuranta

TAVI-toimenpiteen jälkeinen seuranta tapahtuu ensisijaisesti kaikukardiografialla. Ennen kotiutumista suositellaan arvioimaan kammiofunktiot, mittaamaan dopplerilla tekoläpän virtausnopeuden huippu, maksimi- ja keskigradietti sekä tehollinen avautumisaukko ja arvioimaan mahdollisen transvalvulaarisen tai paravalvulaarisen läppävuodon vaikeusaste (2). Potilasmäärästä johtuen resurssit eivät mahdollista kaikkien potilaiden tiheää seuranta, vaan yleensä varhaiskontrollin (1–3 kk:n kuluttua toimenpiteestä) jälkeen jatkoseuranta muodostuu yksilöllisen harkinnan mukaan. Kaikututkimuksessa arvioidaan kokonaisvaltaisesti vasemman kammion toiminta sekä mahdolliset muut läppäviat. Implantoidusta läpistä mitataan gradientit, määritetään AVA ja arvioidaan mahdollinen para- tai transvalvulaarinen vuoto. Näiden parametrien huolellinen dokumentointi on olennaista, jotta mahdollinen läppädegeneraatio voidaan todeta varhaisessa vaiheessa ja potilasta seurata oikealla tavalla. Erityisesti vuotopainotteisessa dege-



neraatioissa TEE-tutkimus voi tuoda lisäarvoa anatomisen tarkkuuden ansiosta.

TT-kuvaus on keskeinen täydentävä menetelmä ongelmatilanteissa ja jatkohoitoa suunniteltaessa. Mikäli läpän gradientti nousee seurannassa, mahdollisena mekanismina tulee huomioida lehdyköiden paksuuntuma (HALT, *hypoaattenuated leaflet thickening*), jonka diagnostiikassa TT on herkkä menetelmä. Varjoainetehosteisen TT-kuvaussarjan tulee kattaa kokonainen sydänsykli useassa vaiheessa, jolloin on mahdollista arvioida myös lehdyköiden poikkeavaa liikkuvuutta (1). Samalla voidaan arvioida läpän asennuskorkeus, symmetria ja mahdollinen alilaajentuminen, jotka voivat altistaa HALT-ilmilölle ja enneaikaiselle degeneraatiolle. Paravalvulaarisen vuodon yhteydessä TT-kuvaus mahdollistaa vuotokanavan tarkan paikantamisen, koon määrittämisen ja katetrisulkutoimenpiteen yksityiskohtaisen suunnittelun.

Kuvantaminen mitraaliläppätoimenpiteissä

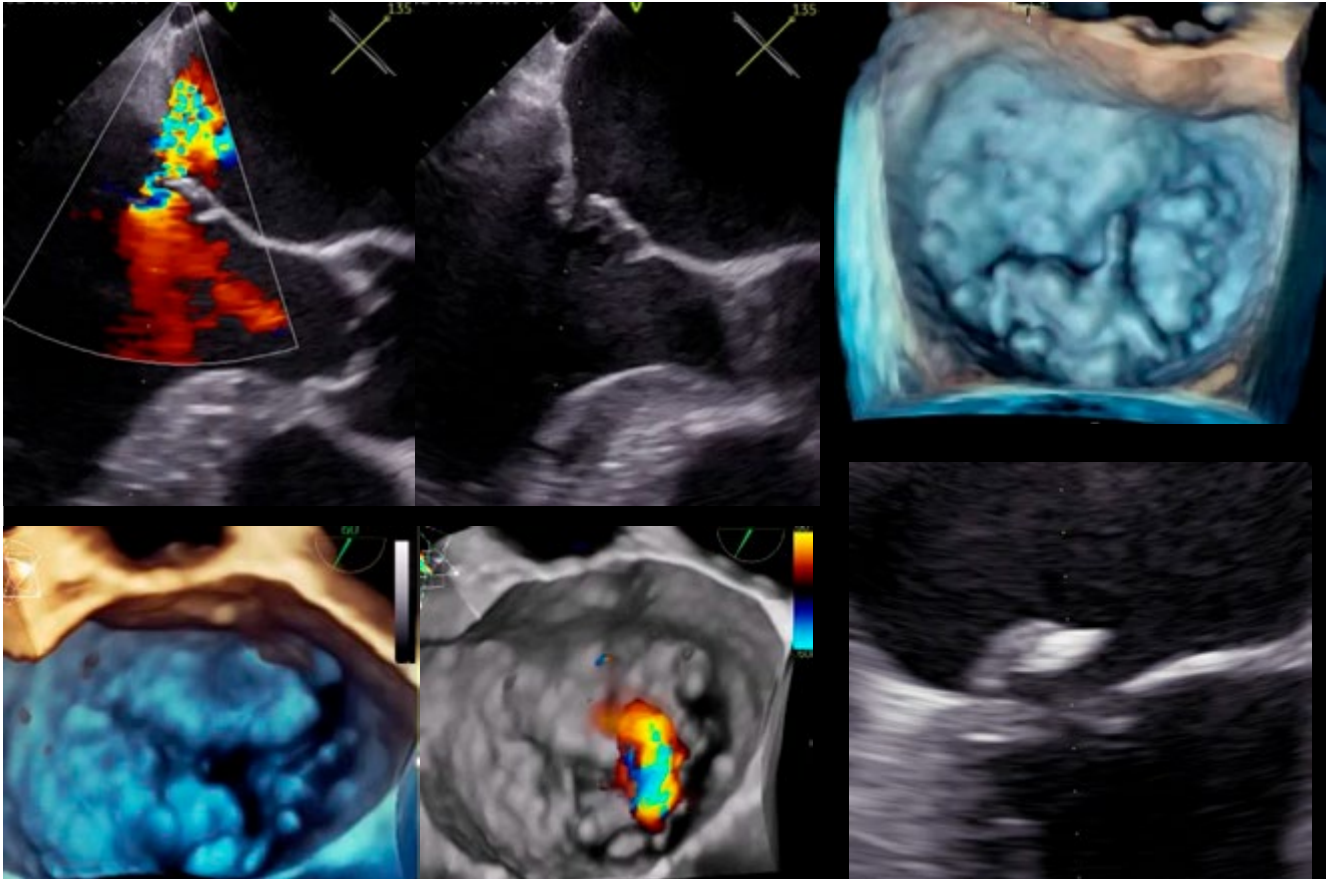
Kuvantaminen mitraaliläpän katetrikorjaukseen liittyen

Vaikean mitraalivuodon korjaus katetrilla asennettavalla klipsillä on hoitovaihtoehto vaikeaoireisille potilaille, kun leikkaushoito ei tule kyseeseen (3). Hoidossa läpän etu- ja takapurjeen reunat kiinnitetään toisiinsa keskiosistaan klipsillä.

Hoidon valinnassa vuodon mekanismin selvittäminen on tärkeää. Rakenteellisen (primaarin) vuodon yleisin syy on läppäliuskojen myksomatoottisesta tai fibroelastisesta degeneraatiosta johtuva prolapsi (4). Toiminnallisessa (sekundarisessa) vuodossa läppäpurjeet ja jännerihmat ovat yleensä normaalit mutta vasemman kammion systolinen toimintahäiriö ja laajeneminen aiheuttavat läppäpurjeiden restriktiivisen liikkeen (5). Vaikka vasemman kammion systolinen toiminta on normaali eikä kammio ole merkittävästi laajentunut, voi toiminnallinen vuoto aiheutua vasemman eteisen laajenemisesta ja läppärenkaan venymisestä (atriaalinen mitraalivuoto) (kuva 3) (3).

Vaikeassa rakenteellisessa mitraalivuodossa kannattaa klipsihoitoa harkita potilaille, joilla läppäleikkaukseen liittyvä toimenpideriski on suuri (3). Sydämen systolisessa vajaatoiminnassa katetrihoitoa suositellaan valikoiduille oireisille potilaille, joilla mitraaliläpässä todetaan vaikea toiminnallinen vuoto vajaatoiminnan muusta hoidosta huolimatta (3). Kaksi satunnaistettua tutkimusta osoitti katetrihoidon vähentävän kuolleisuuden ja sydämen vajaatoiminnasta johtuvan sairaalahoidon muodostamia yhdistelmäpäätetapahtumia, kun vasemman kammion ejektiofraktio oli vähintään 20 % ja kammion systolinen poikkimitta enintään 70 mm eikä potilaalla todettu vaikeaa oikean kammion toimintahäiriötä, yli 70 mmHg:n keuhkovaltimopainetta tai voimakasta trikuspidaaliläpän vuo-

KUVA 3. Toiminnallinen mitraalivuoto TTE-tutkimuksessa. Ylemmässä kuvaparissa näkyy voimakas, toiminnallinen vuoto vasemman kammion systolista vajaatoimintaa sairastavalla potilaalla. Vasemman kammion ejektiofraktio on kohtalaisesti alentunut (noin 35 %), alatakaseinä on infarktoitunut ja mitraaliläppä vuotaa läppäpurjeiden restriktiivisen liikkeen vuoksi. Alemmassa kuvaparissa näkyy toiminnallinen, atriaalinen mitraalivuoto sydämen vajaatoimintapotilaalla, jolla vasen kammio ei ole merkittävästi dilatoitunut ja ejektiofraktio on normaali (55 %) mutta vasen eteinen ja mitraaliläppärenka ovat voimakkaasti laajentuneet.



KUVA 4. Mitraalivuodon tutkiminen preoperatiivisesti TEE-tutkimuksella. Ylävasemmalla esimerkki pitkän akselin suunnassa näkyvästä toiminnallisesta, voimakkaasta mitraalivuodosta, jossa erityisesti takapurjeen liike on restriktiivinen. Yläoikealla esimerkki 3D-kuvassa näkyvästä rakenteellisesta mitraalivuodosta, jossa takapurjeen keskiosan P2 prolaboituu flail-tyyppisesti kordaruptuuran seurauksena. Alavasemmalla esimerkki paikallisesta mitraalivuodosta, jota ei hoidettu klipsillä syvän, läppärenkaaseen ulottuvan takapurjeen halkion vuoksi. Alaoikealla pitkän akselin kuvassa takapurjeen flail-tyyppisestä prolapsista johtuva mitraalivuoto, jota ei hoidettu klipsillä takapurjeen prolaboituvan osan paksun kalkin vuoksi.

toa (3, 6, 7). Lisäksi loppuvaiheen sydämen vajaatoimintaa ja hypertrofista, restriktiivistä tai kertymäsairaudesta johtuvaa kardiomyopatiaa sairastavat potilaat suljettiin pois tutkimuksista. Myös atriaalisessa mitraalivuodossa katetrihoitoa voi harkita (3). Klipsihoidon tulokset ovat kliinisessä käytössä olleet hyviä (yli 90 %:lla läppävuoto vähenee korkeintaan kohtalaiseksi) ja vakavien komplikaatioiden riski on ollut pieni (8).

Mitraaliläpän rakenteen huolellinen tutkiminen ruokatorven kautta tehtävällä ultraäänitutkimuksella on tärkeää potilasvalinnan ja hoidon onnistumisen kannalta. Tutkimuksessa kiinnitetään huomiota läppärakenteeseen erityisesti suurimman vuodon kohdalla pitkän akselin suunnassa (kuva 4). Kommissuuraprojektio auttaa vuotokohdan paikallistamisessa. Tämän lisäksi on tärkeää tutkia läpän reuna-alueet (P1/A1 ja P3/A3) mahdollisten vikojen pois sulkemiseksi. Kolmiulotteinen kuvantaminen on välttämätöntä koko läpän rakenteen arvioimiseksi ja joidenkin rakennepoikkeavuuksien, kuten halkion, pois sulkemiseksi. Hyvää toimenpidetulos ennakoivat paikallinen, läpän keskeltä (A2/P2-alueelta) tuleva vuoto ja vähintään 10 mm pitkä mitraaliläpän takapurje. Suuri koaptaatiovaje (> 10 mm), voimakkaasti restriktiivinen läppäpurjeiden liike sekä useat tai hyvin leveät vuodot aiheuttavat haasteita, mutta tekniikan kehittymisen myötä ne estävät entistä harvemmin onnistuneen hoidon. Laitetta ei voi kuitenkaan asentaa tuke-

vasti kalkkeutuneeseen tai hyvin lyhyeen (< 5 mm) läppäpurjeeseen, jolloin hoito on vasta-aiheinen. Muita vasta-aiheita ovat endokardiitti, mitraalistenosi ja syvä, läppärenkaaseen ulottuva halkio (*cleft*) (3).

Kuvantaminen mitraaliläpän katetrikorjauksen aikana

Mitraalivuodon katetrikorjaus tehdään käyttäen apuna ruokatorviultraäänitutkimusta toimenpiteen aikana (kuva 5). Transseptaalipunktion oikea paikka eteisväliseinäessä on tärkeää katetrin suuntaamisessa mitraaliläppäaukkoon. Ultraääniohjauksella varmistetaan myös klipsin olevan kohtisuorassa läppäpurjeisiin nähden. Tämän jälkeen klipsi viedään ultraääniohjauksessa vasempaan kammioon, vuotokohdassa mitraaliläppäpurjeet ohjataan tukevasti klipsin sakaroita vasten ja ne suljetaan klipsin sisään. Tämän jälkeen ultraäänellä varmistetaan klipsin tukeva kiinnittyminen ja vuodon väheneminen. Tarvittaessa klipsi on mahdollista avata ja asettaa uuteen paikkaan tai asettaa uusi klipsi ensimmäisen klipsin viereen toivotun tuloksen aikaan saamiseksi. Mitraaliläpän gradientin mittaustuksella varmistetaan, että hoito ei aiheuta stenoosia. Perikardiumneste tai kohonnut laskimopaine voi viitata rakennekomplikaatioon.

Toimenpiteen jälkeen, ennen kotiutusta, toimenpidetulos tarkistetaan rintakehän päältä tehtävällä ultraäänitutkimuk-



KUVA 5. TEE-tutkimus mitraalivuodon katetrikorjauksen aikana. Vasemmanpuoleisessa 3D-kuvassa katetria suunnataan kohti mitraaliläppää vasemmassa eteisessä. Keskellä mitraaliläppäpurjeet avointa klipsiä vasten. Oikealla mitraaliläppäpurjeiden reunat ovat kiinni suljetussa klipsissä.

sella. Toimenpiteen jälkeisen myöhäisseurannan käytännöt vaihtelevat, mutta yleensä on aiheellista tehdä jälkitarkastus joidenkin viikkojen kuluessa ja tarvittaessa aiemmin vajaatoimintaoireiden ilmaantuessa. Tällöin on tärkeää todeta klipsin kiinnittyminen molempiin läppäpurjeisiin, minkä lisäksi arvioidaan jäljelle jääneen mitraalivuodon vaikeusastetta. Mikäli klipsi irtoaa läppäpurjeesta tai muusta syystä todetaan voimakas vuoto korjauksen jälkeen, on aiheellista ottaa yhteyttä toimenpideyksikköön tilanteen arvioimiseksi.

Mitraalivuodon klipsihoito on vakiintunut kliiniseen käyttöön, ja Suomessa toimenpiteitä tehdään joitain kymmeniä vuosittain. Läppä rengasta tukevat laitteet ja katetrilla asennettavat tekoläpät eivät ole yleistyneet kliiniseen käyttöön klipsihoidon tavoin.

Kuvantaminen trikuspidaaliläppätoimenpiteissä

Vaikeaa trikuspidaaliläpän vuotoa tavataan noin 7 %:lla iäkkäistä ihmisistä, ja se lisää merkittävästi oireita, hoidon tarvetta sekä kuolleisuutta (9). Valtaosa vuodosta on sekundaarista eli seurannaisvaikutusta joko oikean kammion eri syistä johtuvasta kuormituksesta tai oikean eteisen laajenemisesta. Ensimmäisiksi rakenteellisia ongelmia on noin joka kymmenennellä. Osalla vuoto luokitellaan tahdistimesta johtuvaksi (10). Vaikean trikuspidaaliläppävuodon diagnostiikan merkittävimmät ongelmat ovat ultraäänidiagnostiikan vaikeus yhdessä hankalan kliinisen kokonaisuuden kanssa. Varhaisessa vaiheessa vaikea trikuspidaalivuoto ei aiheuta yhtä selkeitä oireita ja kliinisiä löydöksiä kuin vasemmanpuoleiset läppäviat. Ei ole lainkaan harvinaista, että potilaalla on saattanut olla vuosiakin vaikea trikuspidaaliläpän vuoto ennen sen diagnosoimista. Pahimmillaan diagnoosiin päästään vasta sekundaarivaikutusten tutkimusten kautta (kuva 6). Diagnoosivaiheessa tilanne on usein monimutkainen, jolloin selvitetään vuodon sekundaarivaikutusten ja potilaan muiden sairauksien merkitystä. Keskeisin haaste on selvittää, mikä oire ja löydös johtuu mistä sekä mitkä ovat niiden vaikutukset potilaan ennusteeseen, toimenpidekelpoisuuteen ja edelleen mahdollisesta toimenpiteestä saatavaan potentiaaliseen hyötyyn (11).

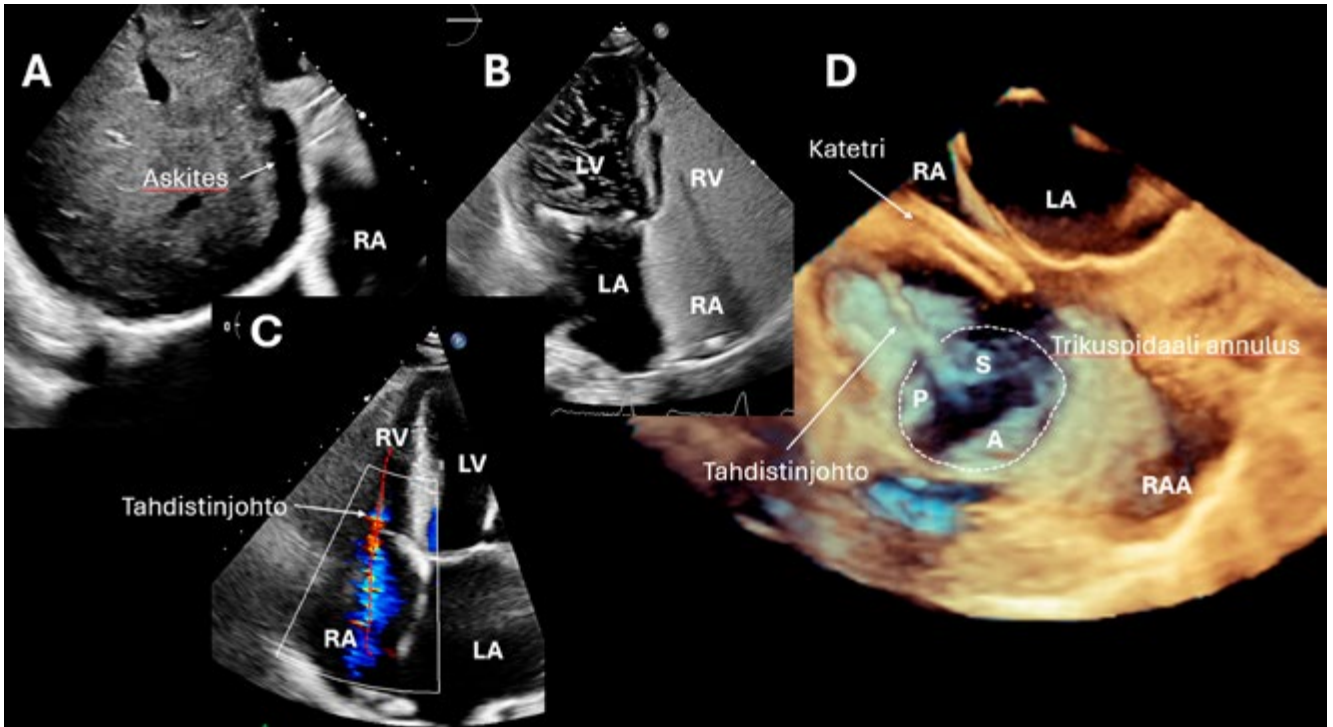
Trikuspidaalivuodon tutkimisessa rintakehän päältä tehtävä ultraäänitutkimus on useimmiten diagnostisesti riittävä. Ruokatorven kautta tehtävää tutkimusta tarvitaan vasta, kun

täytyy saada yksityiskohtaista tietoa trikuspidaaliläpän rakenteesta katetritoimenpidettä varten. Vaikean trikuspidaalivuodon luotettavimpia löydöksiä ultraäänitutkimuksessa ovat systolinen takaisinvirtaus maksalaskimoissa sekä tiivis, matala ja kolmiomainen virtauskäyrä (kuva 7). Myös hyvin leveä vuoto ja läppäpurjeiden kohtaamattomuus tai muu mekaaninen vika viittaavat vaikeaan trikuspidaalivuotoon. Oikean puolen kokonaisuuden arviointi, mukaan lukien sydämen oikean puolen koko, toiminta ja pulmonaalipainetaso, yhdessä muun kokonaisuuden kanssa on oleellista.

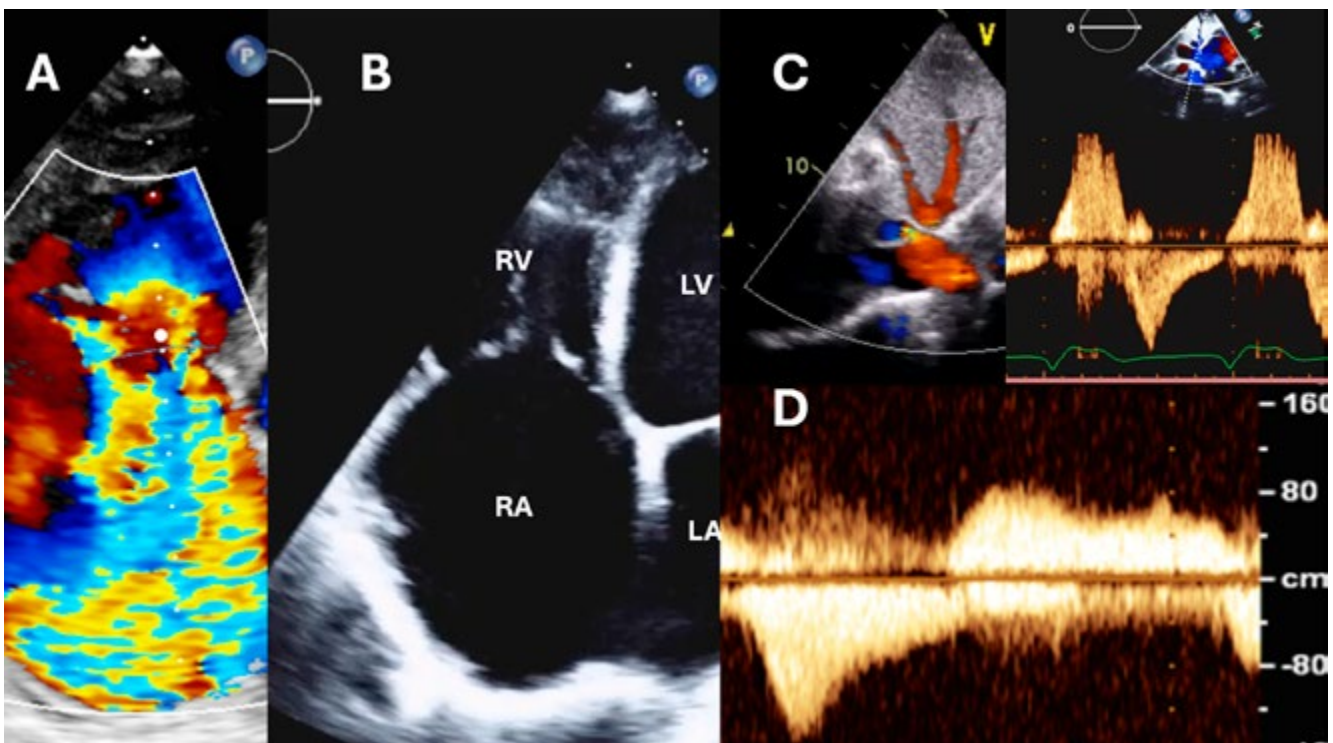
Vaikka myös trikuspidaaliläpän vuodon katetrihoitoon on kehitetty erilaisia menetelmiä, on klipsaus tällä hetkellä valta-toimenpide ja käytännössä ainoa rutiinikäytössä oleva toimenpide maassamme. Itse klipsaus vastaa täysin mitraaliläpän toimenpidettä. Trikuspidaaliläpän klipsaus tehdään kuitenkin ilman transeptaalipunktiota, ja toimenpide onkin todettu hyvin turvalliseksi ja merkittäviä komplikaatioita on vähän (12). Haasteellisen toimenpiteestä tekee vaativa näkyvyys sekä trikuspidaaliläpän suurempi anatominen vaihtelu. Trikuspidaaliläpän kuvantamisessa rutiinikäytössä on kaksiulotteisen kuvantamisen lisäksi kolmiulotteinen kuvantaminen samanaikaisella useamman suunnan rekonstruktioilla (kuva 8). Osassa keskuksista muutoin hankalaa kuvantamista voidaan auttaa myös sydämen sisäisellä ultraäänellä. Kuitenkin toimenpiteen onnistuessa neljä potilasta viidestä voi toimenpiteen jälkeen paremmin, ja satunnaistetussa 2 vuoden seurannassa sairaalahoidojen määrä väheni (12).

Lopuksi

Katetriläppätoimenpiteet ovat vakiintuneet hoitomuodoksi niihin soveltuville potilasryhmille. Erilaisten kuvantamismenetelmien käyttö ja osaaminen on olennaista toimenpiteiden onnistumiseksi. Tälle sydänsairauksien hoidon sektorille on ollut ominaista jatkuva ja nopea toimenpidevälineiden ja -tekniikoiden kehittyminen. Uusimpina hoitomuotoina kliiniseen käyttöön ovat tulossa katetrilla verisuonen kautta asennettavat biologiset tekoläpät mitraali- ja trikuspidaalivikojen sekä aorttaläpän vuodon hoidoksi. Lähivuosina katetritekniikat siis mahdollistanevat yhä useamman potilaan hoitamisen. Uudet toimenpidetyypit edellyttävät puolestaan jälleen laadukasta ja erityisosaamista vaativaa kuvantamista. ■



KUVA 6. Merkittävän trikuspidaalivuodon vaikea diagnostiikka. Keski-ikäisellä potilaalla oli ollut vuosien ajan askitesnestettä, joka oli myös ultraäänessä todettavissa subkostaalikuivissa maksan ja sydämen välissä (A). Askitesnesteen ajateltiin alkuun johtuvan maksan ongelmasta, ja maksansiirtoa edeltäväsä, rintakehän päältä tehdystä sydämen ultraäänitutkimuksessa todettiin kuplien siirtymistä vasemmalle puolelle (B). Tämän tulkittiin johtuvan keuhkojen av-fisteleistä ja varmistavan maksakirroosidiagnoosin sekä siihen liittyvän hepatopulmonaalisen syndrooman. Itse trikuspidaalivuoto näyttöytyi valheellisen lievänä (C) johtuen tahdistinjohtoon liittyvästä katveesta sekä coanda-vaikutuksesta. Husin maksansiirtopoliklinikalla päädyttiin kuitenkin siihen, että maksan kuormitus ja askitesneste johtuvat molemmat sydänperäisestä kuormituksesta, jonka perimmäiseksi syyksi osoittautui vaikea trikuspidaaliläpän vuoto. Kuva D on trikuspidaaliläpän katetriloimenpiteestä, jossa kolmiulotteisessa kuvassa nähdään alaonttolaskimosta tuleva toimenpidekatetri. Kahden klipsin asettamisella vuoto väheni. Aiemmassa tutkimuksessa nähty oikovirtaus johtui PFO:sta. LA ja LV = vasen eteinen ja kammio, RA ja RV = oikea eteinen ja kammio, RAA = oikea eteiskorvake. Kuvassa D septaalinen purje = S, anteriorinen purje = A ja posteriorinen purje = P.



KUVA 7 Vaikea trikuspidaalivuoto rintakehän päältä tehtävässä sydämen ultraäänitutkimuksessa. Vaikea trikuspidaalivuoto on usein leveä ja turbulentti (A), ja mustavalkokuvassa voidaan usein nähdä rakenteellinen ongelma (B). Kuvassa B oikeanpuoleisten lokeroiden laajentuma aiheuttaa läppäpurjeiden väliin jäävän raon. Vaikeaan vuotoon liittyy useimmiten systolinen takaisinvirtaus maksalaskimoissa (C). Hyvin vaikean trikuspidaalivuodon virtauskäyrä on tyypillisesti matala, tiivis ja kolmiomainen (D).

Viitteet

1. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S. ym. Computed Tomography Imaging in the Context of Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI)/Transcatheter Aortic Valve Replacement (TAVR): An Expert Consensus Document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12(1):1-24. doi: 10.1016/j.jcmg.2018.12.003.
2. Zoghbi WA, Asch FM, Bruce C. Guidelines for the Evaluation of Valvular Regurgitation After Percutaneous Valve Repair or Replacement: A Report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Japanese Society of Echocardiography, and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Soc Echocardiogr* 2019; 32(4): 431–75.
3. Praz F, Borger MA, Lanz J, ym; ESC/EACTS Scientific Document Group. 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J*. 2025 Nov 21;46(44):4635-4736.
4. Paakkanen R, Valtola A. Degeneratiivinen mitraalivuoto. *Sydänääni teemanumero 2023;34;1A:174-179*
5. Saraste A, Rapola J. Toiminnallinen mitraalivuoto: Miten tutkin ja hoidan? *Sydänääni teemanumero 2023;34;1A:169-173*
6. Stone GW, Lindenfeld J, Abraham WT, ym; COAPT Investigators. Transcatheter Mitral-Valve Repair in Patients with Heart Failure. *N Engl J Med*. 2018 Dec 13;379(24):2307–2318.
7. Anker SD, Friede T, von Bardeleben RS, ym; RESHAPE-HF2 Investigators. Transcatheter Valve Repair in Heart Failure with Moderate to Severe Mitral Regurgitation. *N Engl J Med*. 2024 Nov 14;391(19):1799–1809.
8. Makkar RR, Chikwe J, Chakravarty T, ym. Transcatheter Mitral Valve Repair for Degenerative Mitral Regurgitation. *JAMA*. 2023 May 23;329(20):1778–1788.
9. Topilsky Y ym. Burden of Tricuspid Regurgitation in Patients Diagnosed in the Community Setting. *JACC:Imaging* 2018;12:433–442.
10. Hahn R ym: Tricuspid regurgitation: recent advances in understanding pathophysiology, severity, grading and outcome. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2022;23:913–929.
11. Tuohinen S, Kaarne M. Trikuspidaaliläpän vuoto – kuka hyötty toimenpitehoidosta? *Sydänääni teemanumero 2023; 34:1A:196–203*
12. Kar S ym: Two-Year Outcomes of Transcatheter Edge-to-Edge Repair for severe Tricuspid Regurgitation: The Triluminate Pivotal Randomized Controlled Trial. *Circulation*. 2025 Jun 10;151(23):1630-1638. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.125.074536.

Sidonnaisuudet

- Marko Virtanen: luentopalkkio (Edwards Lifesciences), tukea koulutukseen (Medtronic, Edwards Lifesciences)
- Jarkko Piuholta: luento- tai konsultointipalkkio (Edwards Lifesciences, Medtronic, Cardirad, Boston Scientific), tukea koulutukseen (Medtronic)
- Helena Rajala: luentopalkkio Medtronic ja Suomen Kardiologinen Seura
- Antti Saraste: luento- tai konsulttipalkkio (Abbott, Astra Zeneca, Bayer, BMS, Novo Nordisk, Pfizer)
- Suvi Tuohinen: luento tai konsultaatiopalkkio (Abbott, Astellas, Pfizer, BMS)

Operatiiviseen hoitoon liittyvä kuvantaminen

Helena Rajala, kardiologian dosentti, LT, sisätautien ja kardiologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus

Peter Raivio, sydän- ja rintaelinkirurgian dosentti, LKT, sydän- ja rintaelinkirurgian erikoislääkäri, Sydänkirurgian klinikka, Sydän- ja keuhkokeskus, Hus

Matias Rantanen, anestesioologian ja tehohoidon erikoislääkäri, DESAIC, sydänanestesian lisäkoulutus, Tyks

Antti Valtola, sydän- ja rintaelinkirurgian dosentti, sydän- ja rintaelinkirurgian erikoislääkäri, LT, Sydänkeskus, Kys

Riitta Paakkanen, kardiologian dosentti, LT, kardiologian erikoislääkäri, Hus Uusi lastensairaala

Tiivistelmä

Kuvantamisella on keskeinen rooli niin operatiivista hoitoa suunniteltaessa, leikkaussalissa, teho-osastolla, ennen kotiutumista kuin komplikaatiota epäiltäessäkin. Myös läppäkirurgian jälkeisessä seurannassa tulee huomioida useita kuvantamiseen liittyviä asioita. Kardiologien ohella myös sydänanestesiologit sekä kirurgit käyttävät kuvantamista osana potilaan hoitoa.

Johdanto

Suomen Kardiologisen Seuran tuoreimman ylilääkärikyselyn mukaan Suomessa tehdään enemmän läppäleikkauksia kuin sepelvaltimoiden ohitusleikkauksia (1). Sydänkirurgisesta keskuksesta riippuen läppäleikkauksia tehdään vuosittain noin 200–400 ja sepelvaltimoiden ohitusleikkauksia noin 150–300 (kuva 1). Näiden lisäksi kardiologien seurannassa oleville potilaille tehdään myös aorttakirurgiaa, synnynnäisten sydänvikojen kirurgista korjausta, erilaisten sydämen kasvaimien poistoja, sydämen apupumpun asennuksia ja sydänsiirtoja, joiden kaikkien tarkkaa lukumäärää ei raportoida vuosittain. Husiin on keskitetty mm. synnynnäisten sydänvikojen operatiivinen hoito sekä sydänsiirto- ja apupumpputoiminta. Kuvantamisella on tärkeä rooli kaikkien näiden potilasryhmien hoidossa. Tässä artikkelissa käydään läpi kuvantamistutkimusten roolia sekä ennen sydänleikkausta että leikkauksen aikana ja välittömästi leikkauksen jälkeen (pre-, peri- ja postoperatiivinen kuvantaminen). Lisäksi käymme läpi läppäleikatun potilaan seurannassa huomioitavia tekijöitä.

Tärkein asia ennen sydänkirurgiaa on oikean diagnoosin ja oikea-aikaisen leikkauspäätöksen tekeminen, potilaan leikkaukkelisuus huomioiden.

Preoperatiivinen kuvantaminen

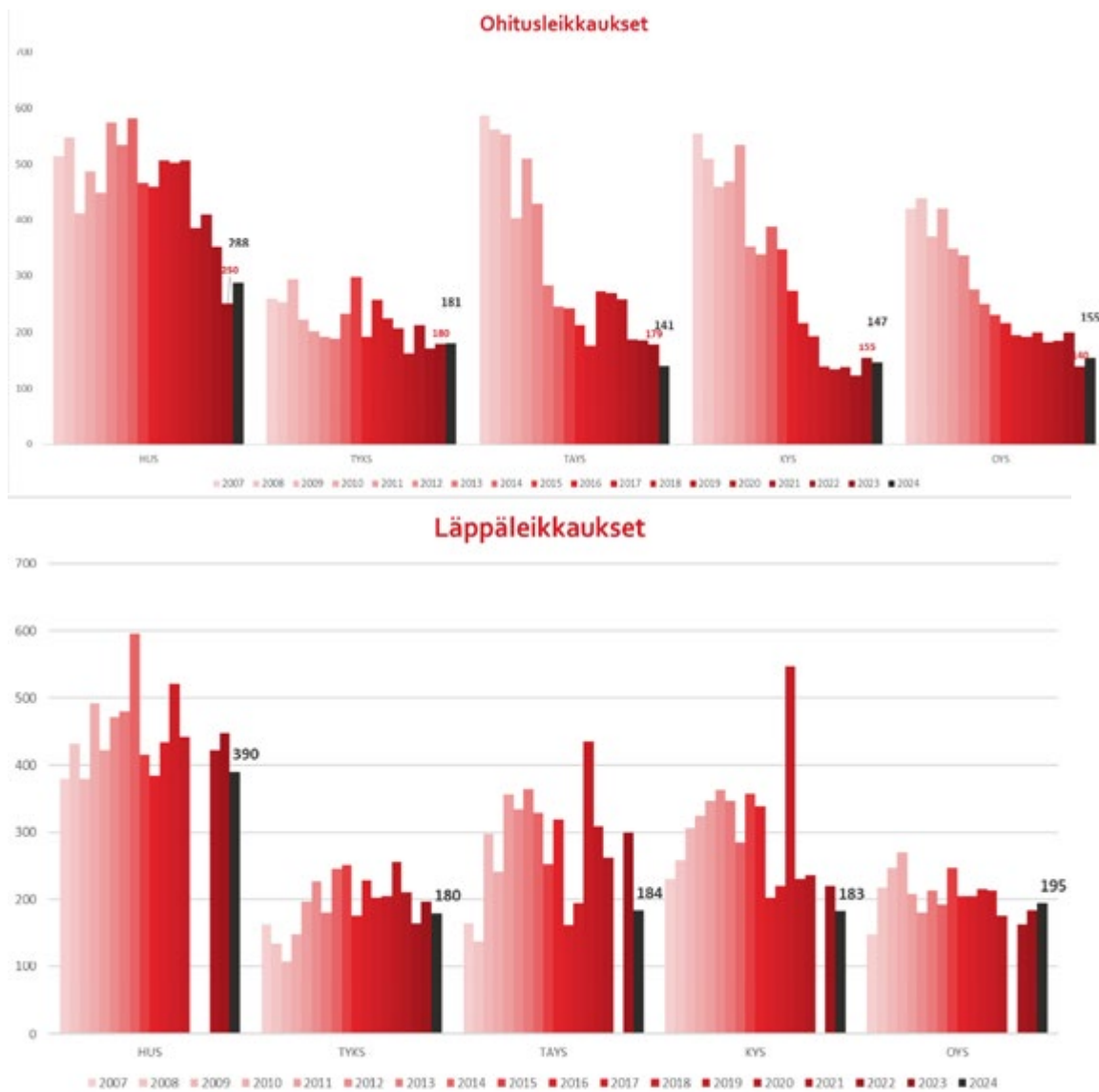
Tärkein asia ennen sydänkirurgiaa on oikean diagnoosin ja oikea-aikaisen leikkauspäätöksen tekeminen, potilaan leikkaukkelisuus huomioiden. Kysymyksenasettelusta riippuen preoperatiivisessa kuvantamisessa käytetään kaikkia sydänkuvantamisen modaliteetteja: sydämen ultraäänitutkimusta (UÄ), tietokonetomografiaa (TT), magneettikuvantamista (MK) ja isotooppimenetelmiä (positroniemissio- ja gamma-kuvausta).

Yleisimpien läppävikojen leikkauksikriteerit on koottu taulukkoon 1. Vaikean läppävian hoidon optimaalista ajankohtaa on näiden parametrien lisäksi pyritty arvioimaan ultraäänellä tehtävällä strain-kuvantamisella sekä MK-tutkimuksella mitattavilla suureilla, mutta näiden rooli hoitopäätöksissä on vielä avoinna (2). Tässä Sydänäänen teemanumerossa käsitellään toisaalla seikkaperäisesti läppävikojen diagnostiikkaa (luku 2). Näiden lisäksi, kun potilaalle ollaan tekemässä sydänleikkausmuusta syystä, voidaan joissain tilanteissa lisäksi päätyä hoitamaan myös keskivaikeita läppävikoja, esimerkiksi keskivaikea aorttavuoto aortta-aneurysman hoidon yhteydessä tai keskivaikea trikuspidaaliläppävuoto vasemman puolen läppävian operatiivisen hoidon yhteydessä (2). Lisäksi etenkin läppäkorjausta suunniteltaessa huolellisella preoperatiivisella kuvantamisella voidaan varautua leikkaukseen mahdollisimman hyvin. Sydänäänen edellisessä numerossa käytiin kattavasti lävitse niitä preoperatiivisia seikkoja sekä kuvantamislöydöksiä, joita kirurgi tarkastelee mitraaliplastiaa suunniteltaessa (3).

Muita kuvantamalla arvioitavia asioita ennen läppäkirurgiaa ovat esimerkiksi hampaiston kunto, kaulavaltimoiden ateroskleroosi, mahdollinen sepelvaltimotauti, aortan koko ja kalkkisuus sekä mahdollinen trikuspidaaliläpän vuoto ja läpän annuluksen koko vasemmanpuolisen läppäkirurgian yhteydessä. Näiden arvioimiseen tarvitaan useita eri kuvantamistutkimuksia (2). Pulmonaalihypertensio vaikuttaa myös leikkauksiriskiin sekä leikkauksesta toipumiseen. Pulmonaalihypertension arvioinnista on vastikään kirjoitettu hyvä suomenkielinen katsaus (4).

Endokardiittipotilaan leikkaushoitoa suunniteltaessa eri kuvantamismodaliteettien rooli hoitopäätöksissä korostuu (5). Endokardittiepäilyssä tehdään aluksi transtorakaalinen sydämen ultraäänitutkimus (TTE). Positiivisen löydöksen, epävarman tilanteen sekä vierasesineiden (läppäproteesit, tahdisti-





KUVA 1. Ohitus- ja läppäleikkausten määrät ja niiden kehitys vuosina 2007–2024 yliopistosairaaloittain jaoteltuna.

met) yhteydessä tehdään jatkotutkimuksena ultraäänitutkimus ruokatorven kautta (TEE). Tarvittaessa tämä toistetaan. Tietokonetomografiaa tarvitaan monesti absessiepäilyissä tai niiden varmistamisessa, kun taas magneettikuvantamisen rooli on pienempi (5). Fluori 18-leimatulla fluorodeoksiglukosi-PET-tutkimuksella (18F-FDG-PET) voidaan varmentaa etenkin vierasesine-endokardiittiepäilyjä. Leukosyyttikartalla voidaan myös arvioida endokardiitin mahdollisuutta (5). Erilaisten sydämen läppien muutosten diagnostiikkaa ja erotusdiagnostiikkaa on käsitelty tarkemmin tuoreessa Sydänäänen artikkelissa (6).

Sepelvaltimotaudin kuvantamista käydään läpi toisaalla tässä teemanumerossa (luku 4). Ohitusleikkauksen yhteydessä sepelvaltimoiden periferia ja ohitusleikkauskohteet arvioidaan angiografiasta; sepelvaltimoiden TT:n rooli on lähinnä sepelvaltimotaudin poissulku, joskin samassa yhteydessä voidaan arvioida aorttaa. Aortan sekä kaulasuonten kuvantamisen tarve tulee erikseen mainita lähetteessä, sillä rutiininomaisessa sepelvaltimoiden TT:ssä näkyy yleensä vain osa nousevaa aorttaa.

Koska sydämen toiminnan tilapäiseen pysäyttämiseen (kardioplegiaan) käytettävät lääkeaineet annostellaan usein koronaarisinukseen, vaikuttaa kuvantamisessa sattumalöydöksenä havaittava persistoiva vasen yläonttolaskimo myös leikkaussuunnitteluun ja se tulisi tunnistaa (kuva 2). Persistoivaa vasenta yläonttolaskimoa voi epäillä TTE:ssä nähdyssä koronaarisinuksen suurentumassa, ja diagnoosi varmistetaan vasempaan yläraajaan injisoiduilla kuplilla. Persistoivan vasemman yläcavan herkin diagnoosimodalityetti on kuitenkin TT. Tämä synnynnäinen rakennepoikkeus vaikuttaa myös tahdistimen asennukseen, kuten tämän teemanumeron tahdistinartikkelissa käydään läpi (luku 6).

Joissain tapauksissa leikkauspäätös on hankala, ja silloin tarvitaan ns. ”heart team” -arviota. Kansainvälisen kyselytutkimuksen perusteella kirurgin, yleiskardiologin ja toimenpidekardiologin lisänä myös sydänkuvantaja on oleellinen osa tällaista sydäntiimiä (60–80 %:ssa tapauksista) (7). Samassa kyselyssä havaittiin, että joissain keskuksissa sydäntiimit käyvät läpi kaikki operatiiviseen hoitoon suunnitellut potilaat, kun taas toisissa käydään läpi vain ongelmalliset tapaukset.

Valikoidut läppävika-interventioiden kriteerit, luokat ja näytönasteet ESC:n hoitosuosituksen mukaan (2)

Läppävika	Potilasryhmä ja keskeiset kriteerit	Suosittelut interventio	Luokka	Näytönaste
Aorttaläppävuoto (AR)	Oireinen vaikea AR (riippumatta kammiofunktioista)	Läppäkirurgia	I	B
	Oireeton vaikea AR, kun LVEF \leq 50 % tai LVESD > 50 mm (tai LVESDi > 25 mm/m ²)*	Läppäkirurgia	I	B
	Oireeton vaikea AR, kun LVEF \leq 55 % tai LVESVi > 45 mL/m ² * tai LVESDi > 22mm/m ² * ja leikkausriski on matala	Läppäkirurgia	IIb	B
Aorttaläppä- ahtauma (AS)	Oireinen vaikea, korkean gradientin AS	Interventio (SAVR tai TAVI)	I	B
	Oireinen vaikea low-flow, matalan gradientin AS, jossa LVEF on alentunut (< 50 %)	Interventio	I	B
	Oireinen vaikea low-flow, matalan gradientin AS, jossa LVEF on normaali (\geq 50 %)	Interventio	IIa	B
	Oireeton vaikea AS, kun LVEF < 50 % ilman muuta syytä	Interventio	I	B
	Oireeton vaikea korkean gradientin AS ja matala toimenpideriski (vaihtoehtona seurannalle)	Interventio	IIa	A
	Oireeton vaikea AS, kun toimenpideriski on pieni ja joku seuraavista täyttyy: a) huippugradientti on hyvin korkea, b) kalkkiaste suuri ja huippunopeus etenee 0,3m/s/vuodessa, c) proBNP on selvästi korkea ilman muuta syytä tai d) LVEF < 55% ilman muuta syytä	Interventio	IIa	B
	Oireeton vaikea AS ja pitkittynyt verenpaineen lasku rasisutokokeessa > 20mmHg	interventio	IIa	C
Primäärinen mitralivuoto (PMR)	Oireinen vaikea PMR	Hiippaläppäkirurgia (mieluiten korjaus)	I	B
	Oireeton vaikea PMR, kun LV-dysfunktio (LVESD \geq 40 mm, LVESDi \geq 20 mm/m ² tai LVEF \leq 60 %)	Hiippaläppäkirurgia	I	B
	Oireeton vaikea PMR, matala leikkausriski ja oletettavasti hyvä korjaustulos, jos > 2/4 täyttyy 1) eteisvärinä 2) SPAP > 50mmHg, 3) LAVI \geq 60 ml/m ² tai LA \geq 55mm 4) vähintään moderaatti STR	Hiippaläppäkirurgia (korjaus)	I	B
	Oireeton vaikea PMR, jos SPAP > 50mmHg tai AF PMR johtuen	Hiippaläppäkirurgia	IIa	B
	Oireeton vaikea PMR, matala leikkausriski ja oletettavasti hyvä korjaustulos, jos LAVI \geq 60 ml/m ² tai LA \geq 55mm	Hiippaläppäkirurgia (korjaus)	IIa	B
Mitraalistenosi (MS)	Oireinen vaikea reumaattinen MS, jos pallolaajennus ei sovellu	Hiippaläppäkirurgia	I	C
Trikuspidaali- läppävuoto (TR)	Oireinen vaikea PTR ilman vaikeaa oikean kammion dysfunktioita tai pulmonaalihypertensiota	Läppäkirurgia	I	C
	Oireinen vaikea STR tai RV-dilataatio tai toiminnanalenema ilman vaikeaa vajaatoimintaa tai pulmonaalihypertensiota	Läppäkirurgia	IIa	B
	Oireeton vaikea PTR ja RV-dilataatio tai toiminnanalenema ilman vaikeaa vajaatoimintaa tai pulmonaalihypertensiota	Läppäkirurgia	IIa	C

*etenkin kun potilas on pienikokoinen eli BSSA < 1,68m²)

Lyhenteet:

LVEF: Vasemman kammion ejektiofraktio.

LVESD(i): Vasemman kammion loppusystolinen läpimitta (indeksoituna).

LVESVi: Vasemman kammion loppusystolinen tilavuusindeksi.

SAVR: Kirurginen aorttaläpän vaihto.

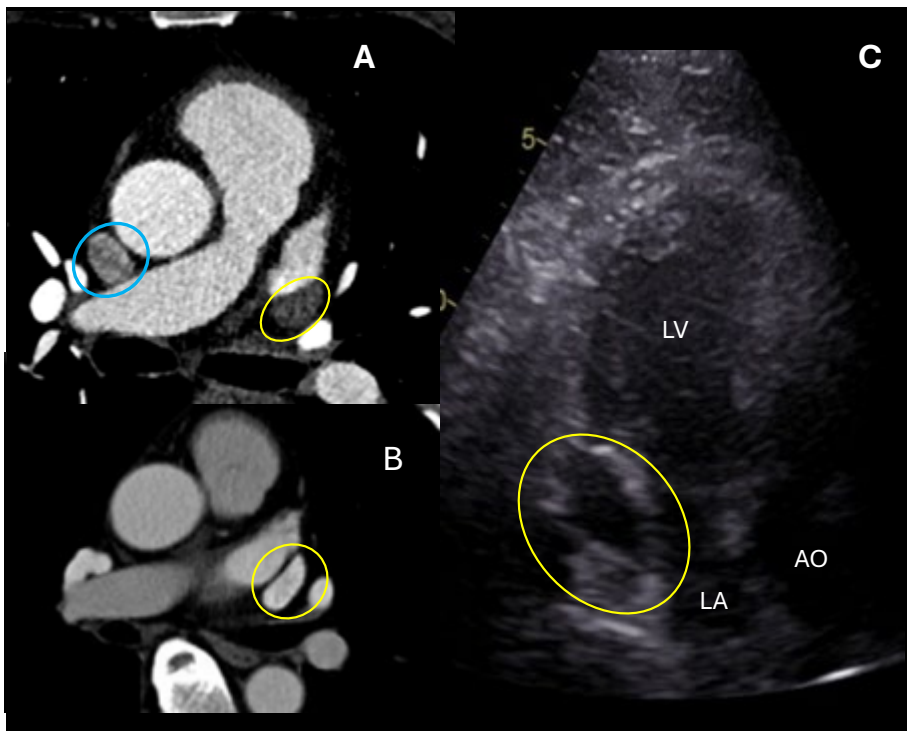
TAVI: Katetriperäinen aorttaläpän istutus.

TEER: Katetriperäinen läpän reuna-reuna-korjaus.

PMC: Perkutaaninen mitraalikommissurotomia (pallolaajennus).

MVA: Hiippaläppäalue (mitral valve area).





KUVA 2. Esimerkkejä vasemmasta persi-
toivasta yläcavasta. Potilas, jolla on sekä
tavallinen oikea yläcava (sininen rengas)
että persi-toiva vasen yläcava (keltainen
rengas) (A). Potilas, jolla ei ole oikeaa vaan
vain vasen yläcava (B, kertainen rengas).
Samantapainen sydämen apikaalinen
ultraäänikuva (C), jossa näkyy dilatoitunut
koronaarisinus (keltainen ympyrä).

Perioperatiivinen kuvantaminen

Sydänkirurgin kannalta useiden eri kuvantamismodaliteettien saatavuus tarvittaessa leikkauksen aikana on tärkeää. Useimmin käytetyt tutkimukset ovat TEE ja epiaortaalinen ultraäänikuvaus eli EAU (*epiaortic ultrasound*). EAU:lla pyritään tunnistamaan sellaiset ateroskleroottiset muutokset nousevassa aortassa, joiden manipulointi lisää aivoembolian vaaraa. Tutkimus auttaa kirurgia valitsemaan kanylointi- ja aortan pihdityspaikat emboliariskin minimoimiseksi. Edellisten lisäksi läpivalaisututkimusta käytetään usein perifeerisesti asennettujen perfluusiokanyylien ja aortan sisäisen vastapulsaatiopumpun (IABP, *intra-aortic balloon pump*) sijainnin varmentamiseksi. Leikkauksenaikainen angiografiatutkimus voidaan tehdä aortan dissekaatioleikkauksen yhteydessä korjattua aorttaa perifeerisemmän valtimopuuston tilan selvittämiseksi.

TEE

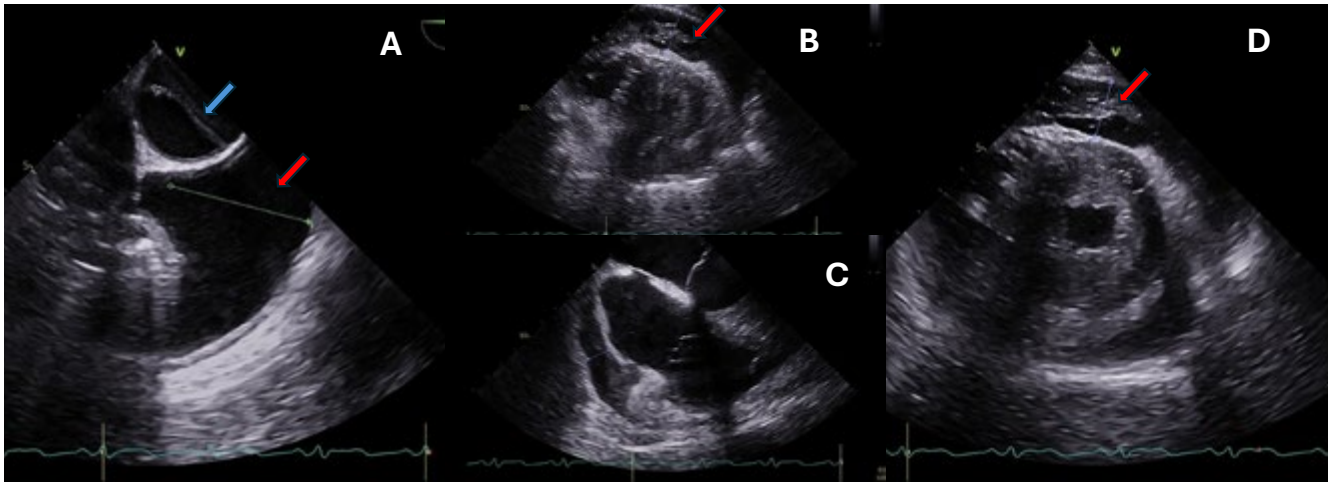
Sydämen kaikukuvaus ruokatorven kautta (TEE, *transesophageal echocardiography*) on keskeinen diagnostinen työkalu ja seurantamenetelmä sydänkirurgiassa (8). Useimmissa maissa, myös Suomessa, kuvantamisen leikkauksen aikana suorittaa sydänanestesiologi. Leikkausvalmistelujen aikana tehdään täysi tutkimus, joka dokumentoidaan sairauskertomukseen, ja kuvat tallennetaan digitaaliseen arkistoon (9). Tavoitteena on saada käsitys vasemman ja oikean kammion funktiosta ja läppien toiminnasta sekä löytää mahdollisia sydämen ja aortan rakennepoikkeavuuksia, joita aiemmissa tutkimuksissa ei välttämättä ole havaittu. TEE:n intraoperatiivinen käyttö assosioitui kohorttitutkimuksessa pienempään kuolleisuuteen, aivoinfarktin riskiin ja uusintaleikkauksen tarpeeseen (10). Rekisteritutkimuksissa on osoitettu TEE:n muuttavan leikkaussuunnitelmaa merkittävän usein sekä ohitusleikkauksissa (11) että läppäkirurgiassa (12), mutta oman kokemuksemme mukaan

kattavan preoperatiivisen TTE- ja TEE-diagnostiikan sekä huolellisen leikkauksen suunnittelun vuoksi leikkaussuunnitelma muuttuu harvoin.

Intraoperatiivisen TEE:n yhteydessä on huomioitava yleisanestesian ja mekaanisen ventilaation aiheuttamat muutokset hemodynamiikkaan. Sekä ahtauttavien läppävikojen että läppävuotojen vaikeusaste vaikuttaa todellista lievemmältä vasodilataation ja hypotension vuoksi. Tätä voidaan yrittää kompensoida tutkimuksen aikana nostamalla vasopressorilla verenpaineet hereillä olevan potilaan tasolle. Jatkuvan positiivisen rintaontelopaineen vuoksi tavalliset diastolisen toiminnan mittaukset voivat olla epäluotettavia.

Päivystyksellisessä sydänkirurgiassa ja etenkin ”hätäkirurgiassa” intraoperatiivisen TEE:n rooli korostuu, sillä osa päivystyspotilaan preoperatiivisista kuvantamistutkimuksista on voinut jäädä tekemättä akuuttitilanteessa (kuva 3). Kiireellisessä ohitusleikkauksessa voi olla tarpeen tehdä samalla läppäleikkaus aiemmin diagnosoimattoman läppävian vuoksi. In-

Sydänkirurgin kannalta useiden eri kuvantamismodaliteettien saatavuus tarvittaessa leikkauksen aikana on tärkeää. Useimmin käytetyt tutkimukset ovat TEE ja epiaortaalinen ultraäänikuvaus (EAU, *epiaortic ultrasound*).



KUVA 3. Akuutti aorttadissekaatio. Dissekaatiofläppi (sininen nuoli) ja hemothorax (punainen nuoli) (A). Hemoperikardium transgastriesta näkymästä (B, C, D). Osa perikardiumin verestä on hyytynyt (B, D, punainen nuoli).

farktikomplikaatioiden, kuten papillaarilihaksen tai kammioväliseinän repeämän, tunnistamiseen TEE soveltuu erinomaisesti. Aortan dissekaation leikkauksessa TEE:llä voidaan tutkia veren virtausta lähes koko rinta-aortassa, ja ainoastaan nousevan aortan distaaliosa jää katveeseen keuhkoputken taakse. On huomioitava, että vaikka dissekaatioleikkausta ennen on yleensä kuvattu aortan TT, dissekaatio on voinut edetä TT-kuvauksen ja leikkauksaliin pääsyn välillä.

Ennen perfuusiota

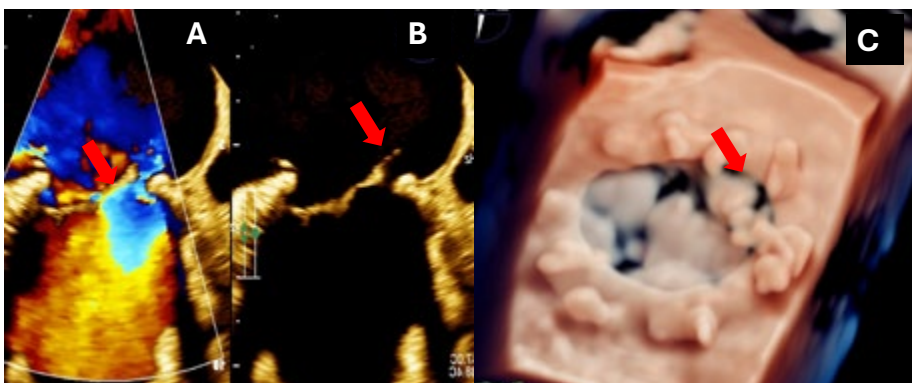
Ennen perfuusiota TEE tarjoaa erinomaisen työkalun verenkierron tilan monitorointiin ja verenkierron tukilääkityksen ohjaamiseen. Jatkuvalla kuvantamisella nähdään muutokset kammioiden täyttöasteessa ja supistuvuudessa sekä voidaan arvioida nestetäytön ja inotrooppisten lääkehoitojen vastetta. Alueellisia kammion seinämän liikehäiriöitä seuraamalla voidaan tunnistaa iskemia. Perfuusiokanyylien asianmukainen sijainti voidaan varmistaa ultraäänikuvantamisella.

Läppäkirurgiaan tulevat potilaat on tutkittu yleensä etukäteen kattavasti, ja siten preperfuusiovaiheessa tehtävän sydämen TEE:n rooli on lähinnä aiempien tutkimuslöydösten varmentaminen ja lopullisen leikkausstrategian valinta. Standardiprojektioiden lisäksi voidaan tutkia ylimääräisiä projektioita ja käyttää 3D-kuvantamista rakenteiden tarkempaan hahmottamiseen.

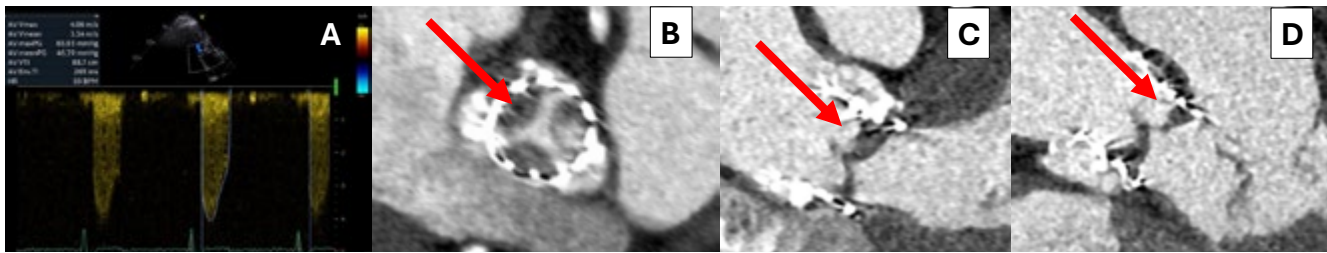
Leikkauksen jälkeen

Aorttapihdin avaamisen jälkeen TEE on keskeinen leikkauksituloksen arvioinnissa. Ennen täyttä perfuusiosta irtautumista vähennetään sydän-keuhkokoneen kautta virtaavan veren osuutta siten, että sydämen lokerot täyttyvät ja pumppaustoiminta saa aikaan läppien aukeamisen ja sulkeutumisen. Tekoläppäkirurgiassa tarkistetaan, että asetettu läppäproteesi aukeaa ja sulkeutuu asianmukaisesti eikä merkittäviä paravalvulaarisia vuotoja tai muita leikkaukskomplikaatioita näy. Läpän säästävässä kirurgiassa tutkitaan mahdollisen residuaalivuodon määrää ja arvioidaan läppien riittävän tiivistä sulkeutumista toisiaan vasten (koaptaatiota) pysyvän leikkauksituloksen saavuttamiseksi. Jos vasen eteiskorvake on suljettu osana toimenpidettä, tarkistetaan sulun onnistuminen TEE:llä. Myös komplikaatioiden, kuten mitraaliläpän säästävässä kirurgiassa tavattavan SAM-ilmiön (*systolic anterior motion*), tunnistaminen on tärkeää.

Perfuusiosta irtautumista valmistellessa TEE:llä tarkistetaan, ettei sydämen lokeroissa ole kaasukuplia, ilmaemبولisaation välttämiseksi. Tarvittaessa sydäntä manipuloidaan manuaalisesti ilman poistamiseksi. Vasemman kammion supistumista tarkastelemalla saadaan tietoa sydänlihaksen pumppauskyvyn lisäksi volyymitäytön tarpeesta. Uusien alueellisten liikehäiriöiden ilmaantuminen voi antaa viitteen sepelvaltimoistutteen ongelmasta, sepelvaltimeen päässeestä



KUVA 4. Mitraaliläpän etupurjeen prolapsin ja vaikean mitraalivuodon vuoksi tehty mitraaliläpän plastia Physio II n:o 36 -annulusrenkaalla ja etupurjeen tekokordalla. Kolmen kuukauden kontrollissa todettiin merkittävä mitraalivuoto (A, punainen nuoli näyttää vuodon kiihtyvyyalueen). Mekanismissi paljastui uusi kordaruptuura etupurjeen mediaalialueella (B, C, punainen nuoli).



KUVA 5. Bioproteesin tromboosi. Vuoden TAVI-kontrollissa bioproteesin virtausnopeudet olivat kiihtyneet, huippunopeus 4 m/s, keskigradietti 46 mmHg (A). Sydämen TT-kuvauksessa läppälehdykät olivat paksuuntuneet sopien bioproteesin tromboosiin (B, C, D, punainen nuoli). Kolmen kuukauden varfariinihoidolla läppävirtaukset palasivat aiemmalle tasolle

ilmakuplasta tai läppäkirurgian sepelvaltimokomplikaatiosta, kuten vasemman sepelvaltimon kiertävän haaran ahtautumisesta mitraaliläppäleikkauksessa. Vasemman kammion supistumisfunktion ja täyttöasteen seurannan lisäksi on kriittistä seurata oikean puolen venyttymistä, sillä oikea kammi on altis ylivenyttymiselle, varsinkin jos keuhkoverenkierron vastus on koholla. Aorttakanyylin aiheuttama aortan dissekaatio suljetaan pois TEE-tutkimuksella ennen perfuusion lopettamista ja vielä uudelleen kanyylin poistamisen jälkeen.

Perfuusion jälkeen

Postperfuusiovaiheen TEE-tutkimus tulee tehdä kaikille läppäleikatuille potilaille. TEE-tutkimuksella tehty läppäleikkauksen tuloksen varmentaminen on keskeinen osa laadukasta läppäkirurgista toimintaa, ja poikkeamien, kuten tekoläpän paravalvulaarisen vuodon tai läppäplastian jälkeisen residuaalisen läppävuodon, korjaamiskynnyksen uudessa sydämen pysäytyksessä tulee olla matala.

Mikäli potilaalle on asennettu sydänläppäproteesi, tulee sen normaali toiminta varmentaa sekä sulkea pois intravalvulaariset ja paravalvulaariset vuodot. Mekaanisen tekoläpän ollessa kyseessä tulee varmistua TEE-tutkimuksella siitä, että molemmat läppälehdykät liikkuvat normaalisti. Painegradientit sekä biologisten että mekaanisten tekoläppien yli tulee mitata poikkeavan korkean painegradientin pois sulkemiseksi. Mitraaliläpän korjaustulos tulee arvioida systemaattisesti kiinnittäen huomio läppäpurjeiden koaptaation syvyyteen, mahdolliseen residuaalivuotoon ja sen mekanismiin sekä SAM-liikkeeseen ja sydämen vasemman kammion takaseinämän (LCX, vasemman sepelvaltimon kiertävä haara) toimintaan. Aorttaläppäplastian jälkeen kiinnitetään lisäksi erityistä huomiota läppäpurjeiden koaptaatiopituuteen ja efektiiviseen korkeuteen.

Mikäli leikkauksessa on kajottu ainoastaan joko aortta- tai mitraaliläppään, tulee postperfuusiovaiheessa tarkistaa aina

myös sen läpän toiminta, johon ei ole kajottu, koska tehty toimenpide saattaa muuttaa sen toimintaa.

Postoperatiivinen kuvantaminen

Teho-osastolla

Sydänleikkauksen jälkeen potilaista otetaan usein teho-osastolla keuhkojen röntgenkuva makuulla joko rutiininomaisesti tai kliinisen epäilyn perusteella. Tarkoituksena on etsiä tai sulkea pois komplikaatioita, kuten ilmarinta ja keuhkopussin verikertymä, ja varmistua kanyyliin, katetriin ja dreerien oikeasta sijainnista. Tosin rutiininomaisen keuhkokuvausten hyödyllisyys on kyseenalaistettu (13, 14).

Sydänleikatun potilaan epävakaa hemodynamiikan arvioinnissa ultraäänikuvantaminen ratkaisee usein diagnoosin ja hoitolinjan. Riittävien TTE-näkymien saaminen välittömästi sydänleikkauksen jälkeen voi olla vaikeaa tai mahdotonta, minkä vuoksi sydänkirurgisia potilaita hoitavalla teho-osastolla tulisi olla valmius TEE-tutkimukseen. Ultraäänellä voidaan osoittaa tai sulkea pois mm. postoperatiivinen tamponaatio, läppäplastian pettäminen ja aortan dissekaatio (kuva 3). Postoperatiivisen pumppausvajauksen diagnoosi ja mahdolliset hoidettavissa olevat syyt tulee selvittää ultraäänikuvauksella (15).

Vuodeosastolla

TTE-tutkimuksella arvioidaan leikkaustulosta sydänläpän ja sydämen kuormitusmuutosten korjaantumisen osalta, ja se tehdään leikatulle potilaalle viimeistään kotiutusvaiheessa – aiemminkin, mikäli toipuminen ei etene suotuisasti. Kardiologisessa postoperatiivisessa arvioissa pyritään arvioimaan perikardium- ja pleuranesteily ja sen kehittyminen, kammiofunktiot, mahdolliset perioperatiiviset komplikaatiot sekä (läppä) toimenpiteen tulos. Kardiologin konsultaatiossa pyritään myös optimoimaan sydänlääkitys, ohjelmoimaan seuranta sekä usein ottamaan kantaa postoperatiivisiin arytmia- tai johtumisongelmiin.

Läppäplastian jälkeen arvioidaan, onko läppä ahdas (läpän virtausnopeudet ja gradientit), onko jäännösvuotoa ja miten sydämen kuormitusmuutokset ovat korjaantuneet. Jos läppäplastian jälkeen epäillään merkittävää läppävuotoa, vuodon mekanismin selvittäminen ja vaikeusasteen arviointi edellyttää läppäkardiologin tekemää TEE-tutkimusta (16, 17) (kuva 4). Samat tekijät arvioidaan myös seurannan aikana.

Leikatun läpän huippuvirtausnopeudet ja painegradientit tulee arvioida ja dokumentoida tarkoin myöhemmän seurannan viitearvoiksi. Välittömässä postoperatiivisessa vaiheessa

Useimmissa maissa, myös Suomessa, kuvantamisen leikkauksen aikana suorittaa sydänanestesiologi.

Taulukko 2. Sydänleikkauksen jälkeisiä ongelmia. Muokattu viitteestä 26.

Kardiovaskulaariset

laskimotromboosi
 keuhkoembolia
 perioperatiivinen iskemia/infarkti
 hypotensio
 arytmiat
 sydänperäinen keuhkokongestio
 ohitteiden ongelmat
 läpän ongelmat
 vajaatoiminta tamponaatio
 pulmonaalihypertensio
 hemothorax
 oikean puolen vajaatoiminta
 rintakipu
 aivoiskemia

Hematogiset (vuodot, koagulopatiat, anemia, hemolyysi, trombosyytti-ongelmat)

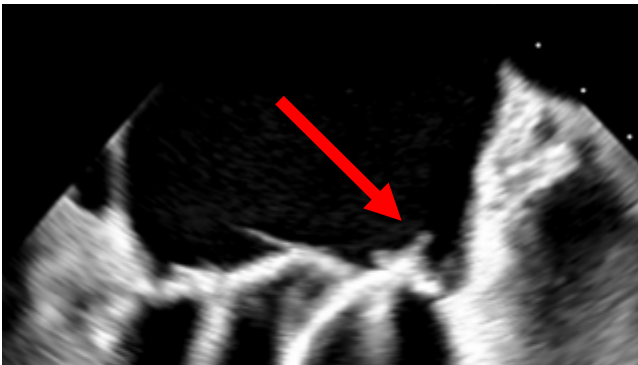
Munaiseen liittyvät (vajaatoiminta ja elektrolyyttihäiriöt)

Neurologiset (iskemia, delirium, kognitiiviset)

Infektiot

Gastrointestinaaliset (ummetus, maksaongelmat, pahoinvointi)

Hengitykseen liittyvät (pleuranesteily, atelektaasi, palleahermovaurio)



KUVA 6. Tekoläpän tromboosi. Vaikean prolapsipohjaisen mitraalivuodon vuoksi kuukausi aiemmin leikkauksessa asennettu ST Jude Medical 33 mm -mallinen mekaaninen mitraaliläppä. Hoitotasolla olevan varfariinihoidon aikana ohimenevä näköhäiriö ja pään MK:ssa multipelit pistemäiset aivoinfarktit. Tekoläpän virtausnopeudet ja gradientit olivat ennallaan, mutta TEE-tutkimuksessa tekoläpän annuksessa todettiin 6 mm:n pituinen ylimääräinen muutos (punainen nuoli). Varfariini vaihdettiin LMWH- ja ASA-hoidon yhdistelmään 3 kk:n ajaksi. Seurannassa mitraaliläpän muutos hävisi eikä uusia neurologisia tapahtumia ilmaantunut.

kiihtyneet läppävirtaukset liittyvät usein anemiaan, kuumeseen, kipuun ja leikkauksen jälkeiseen nesteretentioon (16, 17). Mikäli gradientit ovat näiden tekijöiden optimoinnista huolimatta merkittävästi koholla, pitää muistaa sen mahdollisuus, että potilaalle on asennettu liian pieni läppä potilaan kokoon ja hemodynaamiseen tilaan nähden (PPM, *patient-prosthesis mismatch*). Onneksi tämä on harvinaista (18). Myös SAM-ilmiön aiheuttama ahtauma tulee sulkea pois. Keinoläpän implantaation jälkeen ja seurannan aikana mitattuja gradientteja verrataan tietyn tyyppisille ja -kokoisille läpille julkaistuihin viitearvoihin. Oikean kammion funktio on yleensä alentunut sydänkirurgian jälkeen.

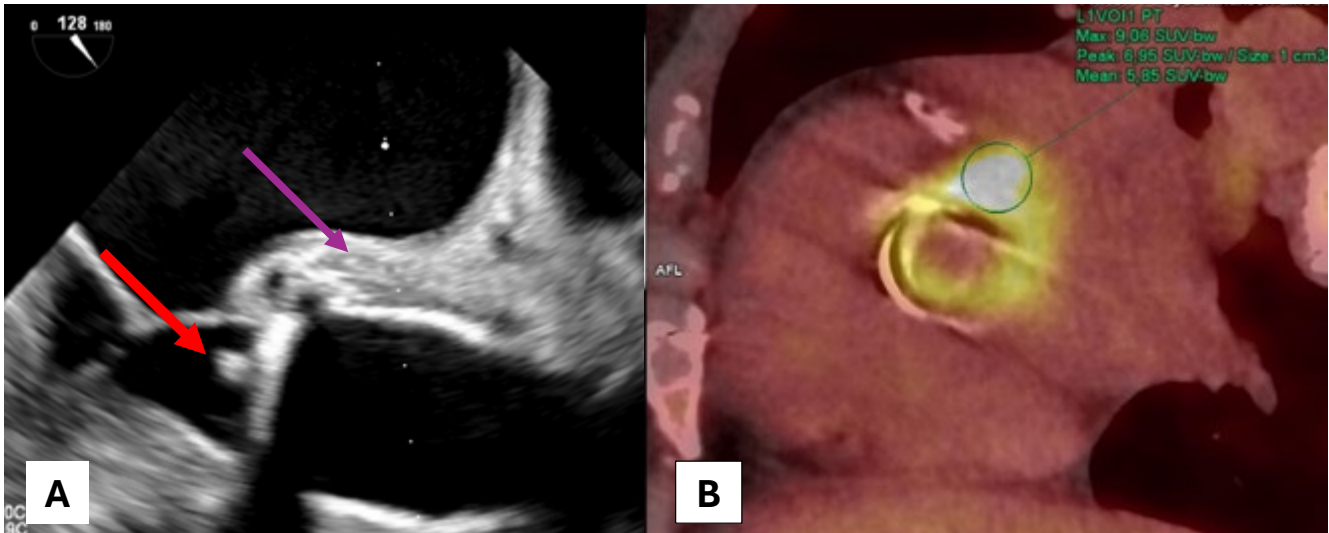
Perikardiumnesteily

Postoperatiivinen perikardiumnesteily on yksi merkittävä kuvantamiskysymys. Suomalaisen tutkimuksen mukaan toimenpidettä vaativaa myöhäistä (> 7 päivän jälkeen ilmaantuvaa) perikardiumnesteilyä oli 6 %:lla kaikista sydänleikatuista sekä 2 %:lla pretamponaation ja 4 %:lla tamponaation vuoksi (19). Postoperatiivinen perikardiumnesteily on joskus vaikea erottaa postoperatiivisesta perikardiitista, joka on yksi perikardiumin vauriosyndroomista (PCIS, *post-pericardiotomy syndrome*). PCIS-diagnosiin kuuluu tiettyjen diagnosikriteerien täyttyminen, ja tulehdusmarkkerien uusi nousu on oleellista (20). Perikardiitin kuvantamisesta on kirjoitettu kattavasti tämän teemanumeron toisessa luvussa. Pelkkä postoperatiivinen perikardiumnesteily häviää yleensä spontaanisti 7–10 päivän aikana (20). Joskus erotusdiagnoosissa joudutaan käyttämään useita eri kuvantamismodaliteetteja. Kolkisiinilla on luokan II näytönaste A postoperatiivisen perikardiitin estossa (20). Postoperatiivinen perikardiitti uusiutuu alle 4 %:ssa ja johtaa tamponaatioon alle 2 %:ssa tapauksista (21).

Postoperatiivisen perikardiumnesteilyn hoitoon ei ole vakiintuneita kansainvälisiä hoitosuosituksia, minkä vuoksi käytännöt voivat vaihdella (22). Uusimmat ESC-suositukset suosittelevat ainakin kohtalaisen perikardiumnesteilyn evakuaatiota viitaten yhteen, 15 vuotta vanhaan tutkimukseen, jossa arvioitiin perikardiumnesteilyä 20. päivänä leikkauksen jälkeen (20).

Tekoläppien ongelmat kotiutumisen jälkeen

Tekoläppien ongelmat jakautuvat neljään osa-alueeseen: tromboosiin, pannusmuodostukseen, degeneratioon ja endokardiittiin. Läppäkirurgian jälkeen keskeisimmät kuvantamismenetelmät ovat sydämen ultraääni rintakehän (TTE) ja ruokatorven kautta (TEE), sydämen TT ja tekoläppäendokardiittietäpäilyssä ¹⁸F-FDG-PET (16). Tekoläpän tromboosissa tekoläpän virtausnopeus ja paine-erot ovat suurentuneet ja läppä saattaa myös vuotaa. Tromboosin erottaminen endokardiitista ja pannuksesta on keskeistä (18). Läppäproteesin pannus johtuu proteesin ympärille muodostuvan sidekudoksen liikkasvusta, joka aiheutuu kehon reaktiona vierasesineeseen ja voi haitata läpän toimintaa aiheuttaen ahtautta tai vuotoa. Bioproteesin tromboosissa läppäpurjeet ovat paksuuntuneet ja niiden liikkuvuus on rajoittunutta. TTE-/TEE-tutkimus on yleensä kliinisesti riittävä bioläpän tromboosin diagnostiikkaan. Sydämen funktionaalisessa TT:ssä (jossa kuvataan koko sydämen sykli) läppärakenteet nähdään tarkoin, ja merkittäväällä osalla potilaista nähdään läppäpurjeiden paksuuntumaa



KUVA 7. Sepsisotilaalle oli aiemmin asennettu mekaaninen aortan yhdistelmäproteesi. Tekoläpän virtausnopeudet olivat normaalit. TEE-tutkimuksessa tekoläpässä oli heiluva vegetaatio (punainen nuoli) ja aortan tyvessä absessiksi sopiva paksuuntuma (violetti nuoli, A). ^{18}F -FDG PET:ssä aortan tyvessä oli selvä merkkiainekertymä (B). Leikkauksessa aortomitralisessa kontinueetissä oli selvä absessi.

(HALT, *hypo-attenuated leaflet thickening*) ilman virtausnopeuden kiihtymistä (kuva 5) (16, 17).

Mekaanisen tekoläpän tromboosin esiintyvyys on suurimmillaan ensimmäisten kuuden kuukauden ajan läppäleikkauksen jälkeen. Läppätromboosissa läppälehdysten liikkuvuus on rajoittunutta ja läppälehdyksissä tai renkaassa voi olla ylimääräistä mobiilia massaa. Mekaanisen tekoläpän läppälehdykät näkyvät huonosti TTE:ssä mutta hyvin TEE-tutkimuksessa, läpivalaisussa ja funktionaalisessa TT-kuvauksessa (kuva 6).

Mekaanisen läpän sidekudoslisän eli pannuksen erottamista tromboosista arvioidaan TEE- ja funktionaalisella TT-tutkimuksella. Tromboosissa nähdään läppälehdysten liikerajoitusta useammin kuin pannuksessa. Pannusta esiintyy useammin aortta- kuin mitralitekoläpässä. Pannus kasvaa yleensä rengasmaisena annuksen myötäisesti sen sisäpuolelle. Trombit ovat yleensä kookkaampia ja epäsymmetrisiä, ja niiden kaikurakenne muistuttaa myokardiumia useammin kuin pannuksen (18). Sydämen TT-tutkimuksessa tuoreeseen läppätromboosiin viittaava muutoksen HU-arvo on < 105 ja pannukseen ≥ 145 ; subakuutissa tromboosissa HU-arvo voi olla välillä $105\text{--}145$ (kuva 5)(23).

Bioläpän degeneraatiolle altistavista tekijöistä keskeisimmät ovat potilaan ikä, pieni läppäproteesin koko ja muut kardiovaskulaarisairaudet. Tekoläppärenkaan ompeleen peittäminen johtaa paravalvulaarivuotoon, jossa veren virtaus kulkee läppäproteesin ja sydänkudoksen välissä. Useimmiten paravalvulaarivuodot ovat lieviä, mutta ne voivat aiheuttaa hemolyysiä. Merkittävää paravalvulaarivuotoa epäiltäessä tulee aina edetä systemaattiseen TEE-tutkimukseen. Endokardiitti tulee sulkea pois, ja veriviljelyiden ja TEE-tutkimuksen lisäksi myös ^{18}F -FDG-PET on usein aiheellinen. Paravalvulaarivuodon diagnoosista ja hoidosta on kirjoitettu tuore, kattava Sydänäänien artikkeli (24). Sydämen TT-tutkimus auttaa paravalvulaarivuotokanavan arvioinnissa. Tekoläpän endokardiitissa voi muodostua läppävegetaatioiden lisäksi läpän vieruskudoksen märkäkertymiä tai fisteleitä tai läppä voi irrota (kuva 7). Teko-

läppäinfektiossa TEE-tutkimuksen lisäksi sydämen TT-tutkimuksella voidaan havaita paravalvulaariabsessit, mahdolliset fisteelit ja läppärenkaan irtoaminen.

PET-tutkimuksen tekemistä harkittaessa ja tutkimusta tulkittaessa on huomioitava, että läppään voi liittyä normaalia postoperatiivista inflammaatiota ja osa proteesimateriaaleista voi olla metabolisesti aktiivisia vielä pitkään leikkauksen jälkeen. Negatiivinen ^{18}F -FDG-PET käytännössä sulkee pois tekoläppäendokardiitin, jos käytössä ei ole tulehdukseen vaikuttavia lääkkeitä. Korkea SUV-arvo (*standardized uptake value*) ^{18}F -FDG-PET-tutkimuksessa proteesiin liittyen tai periproteesisesti fokaalisena tai heterogeenisenä kertymäprofiilina tukee vierasesinetulehduksen epäilyä. Tulehduksen arviointi PET-tutkimuksella on kuitenkin haastavaa, sillä monet tekijät vaikuttavat SUV-arvoon. Leikkauksessa käytetyt materiaalit, mukaan lukien huopavahvikkeet ja kudossiima, voivat aiheuttaa PET:ssä vääriä positiivisia löydöksiä (25). Siksi lähetettä tehtäessä on erityisen tärkeää ilmoittaa mahdollisimman tarkasti leikkauksen ajankohta, käytetyt materiaalit sekä mahdolliset lääkitykset (esim. antibiootit ja steroidit sekä niiden aloitus ja hoidon kesto), koska ne vaikuttavat merkittävästi löydöksen tulkintaan. Tarvittaessa leukosyyttikartta voi auttaa tulkinnassa vaikeissa tapauksissa (infektio vai inflammaatio). Leukosyyttikarttaa tehtäessä potilaan verestä eristetyt valkosolut merkitään radioaktiivisella isotoopilla (esim. Technetium-99m), palautetaan elimistöön ja kuvataan gammakameralla, jolloin voidaan paikantaa infektiolueet, koska leukosyytit hakeutuvat näihin kohtiin.

Yhteenveto

Kuvantamisella on keskeinen rooli operatiivisen hoidon suunnittelussa, toteutuksessa ja seurannassa. Kuvantamista tekevät sekä kuvia tulkitsevat niin kardiologit, kirurgit kuin anestesioititkin. Tällainen moniammatillinen yhteistyö ja heart team -toiminta parantaa potilaiden hoitoa. ■

Viitteet

- SKS Atlas yllilääkäritys 2024 – muutoksen tuulia. UEF CRIS. Accessed February 20, 2026.
- Praz F, Borger MA, Lanz J, ym. 2025 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease: Developed by the task force for the management of valvular heart disease of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. Published online August 29,
- Niemi H, Kylmä M, Juvonen T. Potilas on tulossa hiippaläppäleikkaukseen – mitä kirurgi haluaa tietää echosta? *Sydänääni* 2026.
- Leskelä P, Wilenius M. Keuhkoverenpaineen arviointi ultraäänellä ja invasiivisesti – tutkimuksiin liittyvät sudenkuopat. *Sydänääni*. 2025;1(36):30-35.
- Delgado V. ym. 2023 ESC Guidelines for the management of endocarditis | *European Heart Journal* | Oxford Academic. *Eur Heart J*, 2023, 44.39: 3948–4042.
- Joosti K. Nappula läpässä – miten tutkin ja hoidan. *Sydänääni*. 2026
- Reskovic V, Paakkanen R, Podlesnikar T. ym. EACVI survey on the role, structure, and implementation of heart teams in current cardiology practice | *European Heart Journal - Imaging Methods and Practice* | Oxford Academic.
- Rong LQ, Shore-Lesserson L, Belani K, ym. Considerations of Intraoperative Transesophageal Echocardiography During Adult Cardiac Surgery: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2025;152(2):129–145.
- Hahn RT, Abraham T, Adams MS, ym. Guidelines for Performing a Comprehensive Transesophageal Echocardiographic Examination: Recommendations from the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2013;26(9):921–964.
- MacKay EJ, Zhang B, Augoustides JG, Groeneveld PW, Desai ND. Association of Intraoperative Transesophageal Echocardiography and Clinical Outcomes After Open Cardiac Valve or Proximal Aortic Surgery. *JAMA Netw Open*. 2022;5(2):e2147820.
- Metkus T, Thibault D, Grant M C. Transesophageal Echocardiography in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Graft Surgery. *JACC*. 2021;78(2).
- Eltzschig HK, Rosenberger P, Löffler M, Fox JA, Aranki SF, Shernan SK. Impact of Intraoperative Transesophageal Echocardiography on Surgical Decisions in 12,566 Patients Undergoing Cardiac Surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2008;85(3):845–852.
- Tolsma M, Rijpstra TA, Rosseel PMJ, ym. Defining indications for selective chest radiography in the first 24 hours after cardiac surgery. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2015;150(1):225–229.
- Rao PS, Abid Q, Khan KJ, ym. Evaluation of routine postoperative chest X-rays in the management of the cardiac surgical patient. *Eur J Cardiothorac Surg*. 1997;12(5):724–729.
- Lomivorotov V, Efremov S, Kirov M. Low-Cardiac-Output Syndrome After Cardiac Surgery - *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2017;31(1):291–308.
- Zoghbi WA, Asch FM, Bruce C, ym. Guidelines for the Evaluation of Valvular Regurgitation After Percutaneous Valve Repair or Replacement: A Report from the American Society of Echocardiography Developed in Collaboration with the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Japanese Society of Echocardiography, and Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2019;32(4):431-475.
- Lancellotti P, Pibarot P, Chambers J, ym. Multi-modality imaging assessment of native valvular regurgitation: an EACVI and ESC council of valvular heart disease position paper. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022;23(5):e171-e232.
- Soria Jiménez CE, Papolos AI, Kenigsberg BB, et al. Management of Mechanical Prosthetic Heart Valve Thrombosis. *JACC*. 2023;81(21):2115–2127.
- Khan NK, Järvelä KM, Loisa EL, Sutinen JA, Laurikka JO, Khan JA. Incidence, presentation and risk factors of late postoperative pericardial effusions requiring invasive treatment after cardiac surgery. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2017;24(6):835–840.
- Schulz-Menger J, Collini V, Gröschel J, ym. 2025 ESC Guidelines for the management of myocarditis and pericarditis: Developed by the task force for the management of myocarditis and pericarditis of the European Society of Cardiology (ESC) Endorsed by the Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J*. 2025;46(40):3952–4041.
- Imazio M, Brucato A, Rovere ME, ym. Contemporary Features, Risk Factors, and Prognosis of the Post-Pericardiotomy Syndrome. *The American Journal of Cardiology*. 2011;108(8):1183–1187.
- Dinter S van, Li W, Wollersheim L, ym. Variations in current clinical practice of postoperative pericardial effusion: a questionnaire study. *Open Heart*. 2023;10(1).
- Schmitt R, Hein J, Minners J, ym. Computed tomography-derived Hounsfield units for the differentiation between thrombosis and leaflet fibrosis in bioprosthetic heart valves. *Clin Res Cardiol*. Published online February 5, 2026.
- Tahvanainen A ja Virtanen M. Paravalvulaarivuodon katetriskulku. *Sydänääni*. 2026
- Roque A, Pizzi MN, Fernández-Hidalgo N, ym. The valve uptake index: improving assessment of prosthetic valve endocarditis and updating [18F]FDG PET/CT(A) imaging criteria. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2022;23(9):1260–1271.
- Montrief T, Koyfman A, Long B. Coronary artery bypass graft surgery complications: A review for emergency clinicians. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2018;36(12):2289–2297.

Sidonnaisuudet

- Riitta Paakkanen: luentopalkkio (AstraZeneca, Bristol-Myers Squibb, Novartis Oy, Suomen Kardiologinen Seura, Suomen Radiologiyhdistys, Suomen Pfizer Oy), korvaus koulutusta-aineiston tuottamisesta (Bristol-Myers Squibb), työsuhte/luottamustoimi (Lääkärikeskus Aava, kardiologian vastuulääkäri, Suomen Kardiologisen Seuran Kuvantamisjaoston puheenjohtaja, Sydänäänän miniteemanumeron toimittaja, kliinisen säteilynkäytön auditoija), apuraha (Juhani Ahon säätiö, Suomen Kardiologinen Seura, AstraZeneca, Paavo Nurmen Säätiö).
- Matias Rantanen: luentopalkkio (SAY), luottamustoimi (valtuuskunnan puheenjohtaja, Suomen Lääkäriliitto)
- Helena Rajala: luentopalkkio (Medtronic, Suomen Kardiologinen Seura)
- Peter Raivio luottamustoimi (hallituksen puheenjohtaja, Suomen Thoraxkirurgiyhdistys r.y.)
- Antti Valtola: luottamustoimi (hallituksen jäsen, Suomen Thoraxkirurgiyhdistys ry)

Keuhkokuvan muuttuva rooli – eri erikoisalojen näkemyksiä

Riitta Paakkanen, LT, dosentti, kardiologian erikoislääkäri, Hus Uusi lastensairaala ja Helsingin Yliopisto

Ari Moilanen, LL, sisätautien ja kardiologian erikoislääkäri, Siun sote, Sydänkeskus

Aino-Maija Vuorinen, LT, radiologian erikoislääkäri, klininen opettaja, Hus Diagnostiikkakeskus ja Helsingin yliopisto

Jani Mononen, LL, akuuttilääketieteen erikoislääkäri, Hus Akuutti Meilahden päivystys

Ollipekka Kailari, LL, keuhkosairauksen ja allergologian erikoislääkäri, Hus Sydän- ja keuhkokeskus, Meilahden sairaala

Tiivistelmä

Kuvantamisen kehitys on johtanut tietokonetomografia- ja magneettikuvantamisen merkittävään lisääntymiseen. Etenkin tietokonetomografiakuvantamisen saatavuus ja käyttö päivystyspoliklinikoilla on yleistynyt. Samalla keuhkokuvan rooli perustutkimuksena on kirjoittajien kliinisen kokemuksen mukaan vähentynyt. Tässä artikkelissa pyysimme eri erikoisalojen edustajia pohtimaan keuhkokuvan roolia potilaiden hoidossa nykyaikana. Kardiologi, radiologi, akutologi sekä keuhkolääkäri tuovat esille oman erikoisalansa näkemyksiä keuhkokuvan käytöstä.

Johdanto

On arvioitu, että maailmassa otetaan vuosittain noin miljardi keuhkokuvaa (1). Keuhkokuvia otetaankin monissa tilanteissa rutiininomaisesti, jopa päivittäin. Erään tuoreen meta-analyysin mukaan rutiininomaisella keuhkokuvan otolla oli vaikutusta potilaan hoitoon thoraxalueen kirurgian jälkeen vain 11 %:ssa tapauksista, pääsääntöisesti dreerien poiston yhteydessä (2). Kardiologian alalla on keskusteltu siitä, että sydämen vajaatoimintapotilaita diagnosoidaan nykyään keuhkoemboliaepäilyn vuoksi tehdyllä tietokonetomografialla (TT). Toisaalta maailmassa on paikkoja, joissa pääsy leikekuvantamiseen

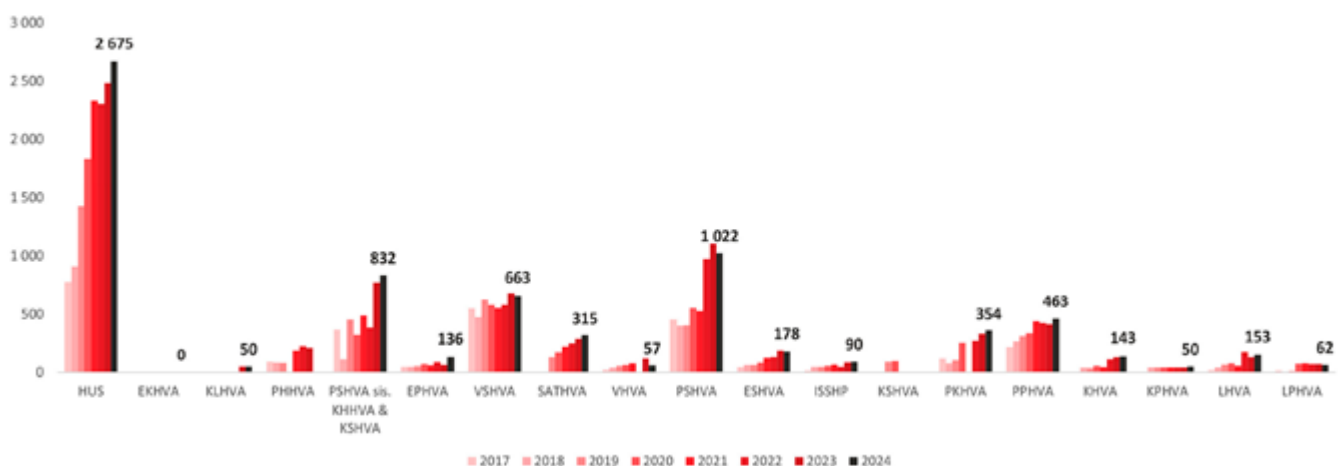
on hyvin rajoitettua. Suomessa sepelvaltimoiden TT-tutkimusten määrä on lisääntynyt selvästi viime vuosina (kuva 1)(3).

Sydänpotilaan keuhkokuva – kardiologin puheenvuoro

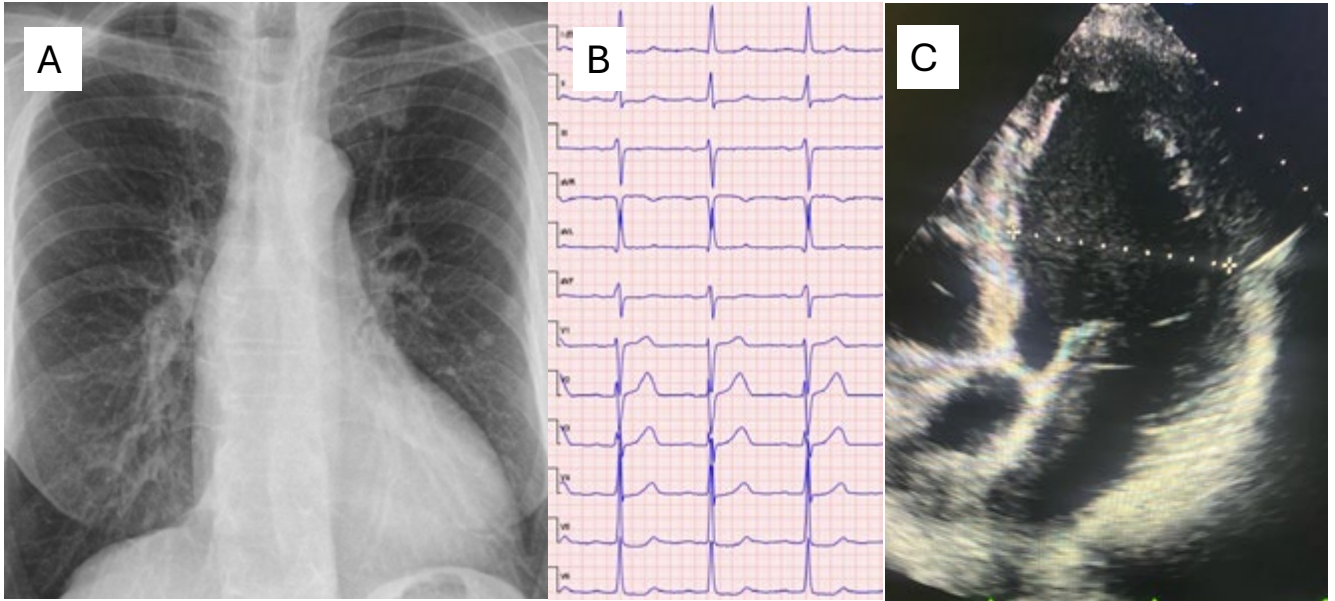
Sydämen rakenne ja toiminta

Keuhkokuvasta mitattua sydämen kokoa on ennen käytetty sydämen vajaatoiminnan markkerina, mutta sen sensitiivisyys ja spesifisyys eivät ole kovin korkeita. Keuhkojen röntgenkuvassa näkyvällä sydänvarjon suurentumisella on 67–82 % herkkyys ja 57–69 % tarkkuus sydämen magneettikuvauksessa todetulle merkittävästi alentuneelle ejektiofraktiolla ja vasemman kamion laajenemiselle (4). Toisaalta myös sydänpussin nestekertymä laajentaa sydänvarjoa eikä sydänvarjon normaali koko takaa normaalia sydämen rakennetta ja toimintaa.

Jos potilaan keuhkokuvassa näkyy sattumalöydöksenä sydänvarjon suureneminen, tulee aluksi selvittää potilaan suorituskyky ja oireet, aiemmat kuvantamistulokset, sairaushistoria, tehdyt sydäntutkimukset, EKG ja harkinnan mukaan proBNP. Kardiologin konsultaation tarve ja kiireisyys määräytyvät näiden perusteella (kuva 2). Oireisen potilaan sydänvarjon uusi suureneminen on herkästi syy jatkotutkimuksiin.



KUVA 1. Raportoidut sepelvaltimoiden TT-kuvausmäärät Suomen eri hyvinvointialueilla vuosina 2017–2024 (3). Mustalla viimeisin raportoitu luku vuodelta 2024.



KUVA 2. Työterveydessä bronkiitin yhteydessä otetussa keuhkokuvassa sattumalöydöksenä suurentunut sydänvarjo (A). Jatkotutkimuksena otettiin EKG, jossa poikkeavana löydöksenä vasemman kammion hypertrofia (Sokolow-Lyon+) ja strain-muutos inferolateraalisesti (B). Ultraäänitutkimuksessa todettiin laajentunut ja lievästi hypokineettinen vasen kammio (C, mitta 68 mm, ejektiofraktio 42 %). Jatkotutkimuksina ohjelmoitiin sepelvaltimoiden TT sepelvaltimotaudin pois sulkemiseksi. Sydämen magneettikuvaus suunniteltiin etiologian selvittämiseksi iskemian pois sulkemisen jälkeen.

Hengenahdistuspotilas ja sydämen vajaatoiminta

Keuhkokuva kuuluu hengenahdistuspotilaan perustutkimuksiin yhdessä perusverikokeiden ja EKG:n kanssa, mutta normaali keuhkokuva ei sulje pois sydämen vajaatoimintaa. Sydämen vajaatoiminnan ensisijainen diagnoosimenetelmä on ultraäänitutkimus, jonka voi tehdä ultraäänen käyttöön perehtynyt lääkäri, esimerkiksi päivystyksessä (5). Vajaatoiminta-diagnoosin etiologisiin selvittelyihin taas voidaan tarvita kardiologin konsultaatiota. Dekompensoidussa sydämen vajaatoiminnassa tapahtuu usein nesteiden poikkeavaa kertymistä. Yksinkertaistetusti vasemman kammion dekompensoidussa vajaatoiminnassa neste kertyy keuhkoihin, mutta oikeanpuoleisissa vioissa neste kertyy alaraajoihin ja maksaan. Potilas voi olla jopa kardiogeenisessä sokissa ilman merkittävää muutosta keuhkokuvassa.

Eräs päivystyspoliklinikalla tehty tutkimus vertaili keuhkojen ultraäänen, keuhkokuvan ja proBNP:n kykyä diagnosoida varhainen vajaatoiminta (6). Vaikka parasta menetelmää ei voitu kyseisen tutkimuksen perusteella nimetä, oli keuhkokuvan ja keuhkojen ultraäänen yhdistelmä tässä aineistossa paras: sen sensitiivisyys oli 78 % ja spesifisyys 87 %. ProBNP on näitä selvästi sensitiivisempi, mutta spesifisyys puolestaan kärsii. Sairaalahoidon aikana keuhkojen kongestion astetta seurataan yleensä ensimmäisten päivien ajan yhtenä hoitovasteen seuranta mittavana muuttujana. On hyvä muistaa, että makuukuvassa pleuranesteen määrä ei ole luotettavasti arvioitavissa. Sen sijaan ultraäänianturilla on helppo tarkistaa pleuranesteen määrä (7).

Keuhkokuva auttaa havaitsemaan muita hengenahdistuksen syitä, kuten pleuranesteen, ilmarinnan, palleahermovaurion, keuhkon kasvaimet, sarkoidoosin, keuhkon tulehdukset, keuhkosairaudet ja ei-sydänperäisen keuhkopöhön (8). On kuitenkin hyvä muistaa, että keuhkokuva voi olla normaali mm.

keuhkoemboliassa, astma-kohtauksessa ja keuhkohtaumataudin pahenemisvaiheessa sekä aspiraation alkuvaiheessa ja metabolisista syistä johtuvan hengenahdistuksen yhteydessä.

Rintakipu

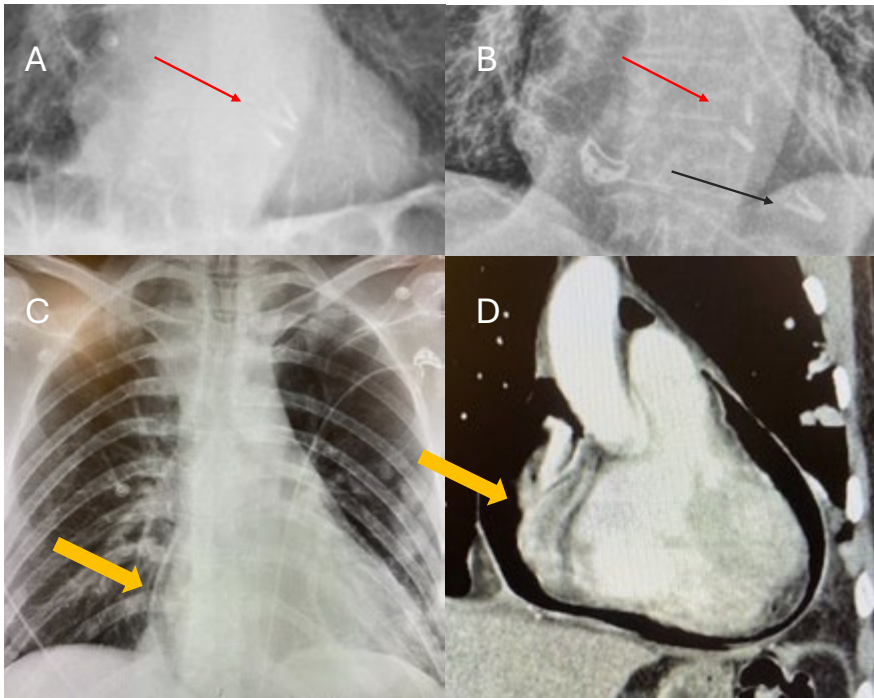
Akuutin rintakivun erotusdiagnoosiin kuuluu usein myös keuhkokuvan ottaminen. Keuhkokuvassa näkyviä rintakivun syitä ovat mm. ilmarinta, pleuriitti sekä kylkiluun murtuma ja siihen liittyvät komplikaatiot, kun taas tietyt vakavat tilanteet, kuten akuutti sepelvaltimotautikohtaus ja aortan repeämä, eivät yleensä näissä kuvissa näy (kuva 3 C, D).

Toimenpiteiden komplikaatiot

Keuhkokuva otetaan yleensä tahdistimen implantaation jälkeen mahdollisen ilmarinnan pois sulkemiseksi sekä tahdistinjohtojen oikean sijainnin varmistamiseksi. Perikardiumin verenvuoto kuvataan ultraäänellä, mutta tässä tulisi muistaa, että hyytynyt veri on runsaskaikuista, toisin kuin klassinen perikardiumnesteily. Elektrofysiologisten toimenpiteiden jälkeen ilmaantuvat rintakehän alueen ongelmat, tahdistinjohtojen tarkemman sijainnin määrittäminen tai nivuspunktion jälkeiset hematoomaepäilyt vaativat yleensä keuhkokuvan lisäksi varjoainetehosteista TT-kuvantamista (kuva 4). Kuvantamis-

Potilas voi olla kardiogeenisessä sokissa ilman merkittävää muutosta keuhkokuvassa.





KUVA 3. Keuhkokuva potilaasta mitraalivuodon perkutaanisen hoidon jälkeen (A, B). Kolme mitraaliläpässä olevaa klipsiä ovat tavanomaisella paikallaan (A, punainen nuoli). Kontrollikuvassa yksi klipsi on selvästi vaihtanut paikkaa (B, musta nuoli). Sydämen ultraäänitutkimus varmisti tilanteen. Kuva: Suvi Tuohinen. Söyöpöpotilaan ruokatorven ja perikardiumin repeämän komplikaationa tullut pneumoperikardium (C, D). Pneumoperikardium todetaan keuhkokuvasa ilmasirppinä (C, oranssi nuoli), ja se varmistui sydämen TT:ssä (D).

ta tahdistinpotilailla käsitellään yksityiskohtaisemmin omassa artikkelissaan tässä teemanumerossa.

Keuhkokuva dokumentoi rintakehän alueelle asennetut implantit sairauskertomusjärjestelmistä riippumattomalla tavalla. Sepelvaltimostenttejä lukuun ottamatta käytännössä kaikki kardiologien sydämeen asentamat implantit näkyvät röntgenkuvissa. Mikäli potilaaseen asennettu vierasesine ei löydy keuhkokuvasa, pitää sen lokalisaatio selvittää (kuva 3). Etenkin sairauskertomusten ollessa puutteellisia keuhkokuvasa voi olla apua potilaan aiemman sairaushistorian selvittämisessä.

Kuvantamisen suunnittelu

Ennen sydämenmagneettikuvausta kaikista luotettavin tieto mahdollisista rintakehän rgt-positiivista implanteista löytyy keuhkokuvasa. Se ei kerro implantin tarkkoja tietoja, mutta sillä saadaan varma tieto implantin olemassaolosta ja esimerkiksi tahdistinjohtojen mahdollisista eristeaurioista tai murtumista. Tahdistinpotilaiden kuvantamista on käsitelty yksityiskohtaisemmin omassa artikkelissaan tässä teemanumerossa.

Keuhkokuva on rintakehän kuvantamisen keskeinen perusmenetelmä ja säilyttää vahvan asemansa kliinisessä päätöksenteossa.

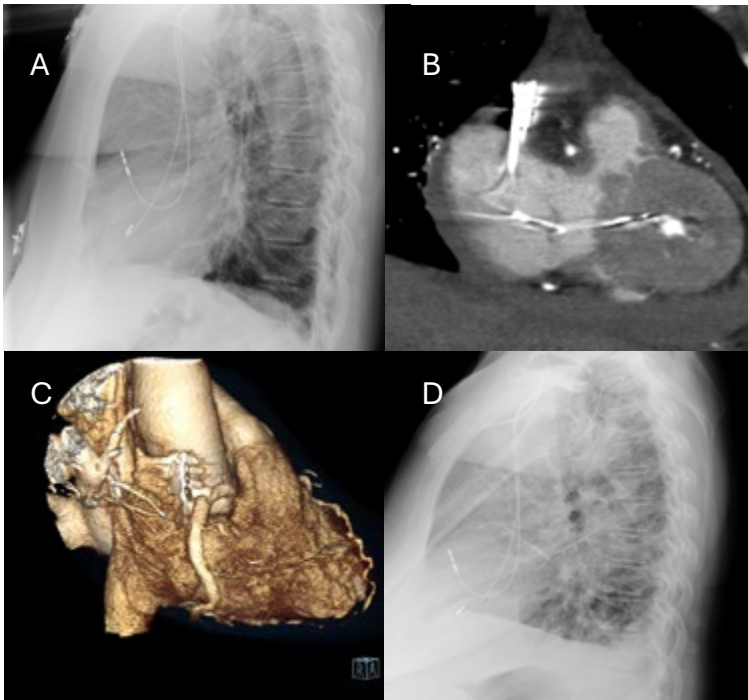
Miksi sepelvaltimo-TT ei aina riitä oireisella potilaalla?

On tärkeää muistaa, että sepelvaltimo-TT-kuvat otetaan vain sydämen tasolta ja tämän ulkopuoliset keuhkokuvasa eteenkin keuhkojen yläosissa jäävät näkemättä. Lisäksi sepelvaltimo-TT:ssä annetut hengitysohjeet voivat poiketa keuhkojen kuvantamisessa annetuista ohjeista. Sepelvaltimoiden kuvantamisen kannalta on tärkeää, että kuvat otetaan hengityspidätyksen aikana – hengitysvaiheella ei sinänsä ole väliä. Keuhkokudosta arvioitaessa TT-kuva tulisi puolestaan ottaa sisäänhengityksen aikana; muissa hengitysvaiheissa keuhkokudosta tiivistyy hypoventilaatioon liittyen (kuva 5).

Keuhkokuva rintakehän kuvantamisen perusmenetelmänä – radiologin puheenvuoro

Keuhkokuva on rintakehän kuvantamisen keskeinen perusmenetelmä ja säilyttää vahvan asemansa kliinisessä päätöksenteossa. Menetelmä on nopeasti toteutettavissa, helposti toistettavissa, vähäsaateinen ja kustannustehokas, minkä vuoksi se soveltuu erityisesti akuuttien kliinisten tilanteiden arviointiin sekä hoitovasteen seurantaan. Keuhkokuvasa systemaattinen tulkinta auttaa havaitsemaan poikkeavuudet (9). Keuhkokuvasa (PA-projektio) efektiivinen säteilyannos on pieni (noin 0,015 mSv) ja vastaa suomalaisen ihmisen noin yhden vuorokauden aikana saamaa taustasäteilyä, mikä tukee sen käyttöä ensilinjan tutkimuksena (10, 11).

Keuhkokuva tarjoaa runsaasti kliinisesti merkityksellistä tietoa, joka vaikuttaa suoraan potilaan hoitoon. Sen avulla voidaan arvioida esimerkiksi keuhkokongestion esiintymistä, tunnistaa hengenahdistuksen taustalla oleva ilmarinta tai pleuranesteily sekä todeta infektiopotilaalla pneumoniaan sopivia varjostumia. Lisäksi keuhkokuva soveltuu hyvin lääketieteellisten hoitovälineiden, kuten intubaatioputkien, keskuslaskimo- ja keskusvaltimokatetrien sekä tahdistinjohtojen sijainnin arviointiin.



KUVA 4. Tahdistinkomplikaatiot: Tavanomaista korkeammalla sijaitseva eteiselektrodi (A). Sydämen TT: eteiselektrodin perforaatio ja hemoperikardium (B). Sydämen TT tilanteesta, kolmiulotteinen malli 3D VRT (C). Eteiselektrodin sijainti korjaustoimenpiteen jälkeen (D).

Vaikka TT tarjoaa anatomisesti tarkkaa ja kolmiulotteista kuvadataa, siihen liittyy erityisesti vierasesineiden yhteydessä tulkintaa haittaavia metalli- ja liikeartefakteja. Lisäksi keuhkokuva on useimmiten helposti saatavilla myös haastavissa olosuhteissa, kuten teho- ja vuodeosastoilla, joilla potilaan siirtäminen TT-tutkimukseen ei aina ole tarkoituksenmukaista. Toisaalta tutkimukset täydentävät toisiaan ja TT-tutkimusta tarvitaan esimerkiksi tahdistinperforaatioiden arvioinnissa (kuva 4).

Keuhkokuvan diagnostiset rajoitukset on tunnistettava. Useissa vakavissa tautitiloissa, kuten keuhkoemboliassa tai aortan dissekaatioissa, keuhkokuva voi olla täysin normaali. Lisäksi suuretkin kasvaimet voivat jäädä näkymättömiin sydämen, mediastinumien tai palleakaarten peittämänä. Tämän vuoksi keuhkokuvan löydökset tulee aina tulkita suhteessa potilaan kliiniseen tilaan ja esitietoihin.

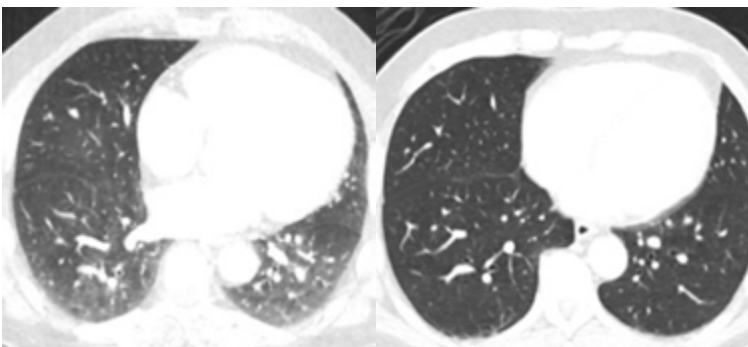
Vaikka keuhkokuva ei kaikissa tilanteissa johda lopulliseen diagnoosiin, sillä on merkittävä rooli erotusdiagnoosiikan rajaamisessa sekä jatkotutkimusten ja hoitoresurssien kiireellisyden ohjaamisessa. Sen arvo kliinisessä työssä perustuu juuri tähän: keuhkokuva toimii helposti saatavana ensilinjan

tutkimuksena, joka tukee tarkoituksenmukaista ja potilaslähtöistä kliinistä päätöksentekoa, kun se tulkitaan systemaattisesti, sitä verrataan aiempiin kuviin ja huomioidaan menetelmän rajoitukset.

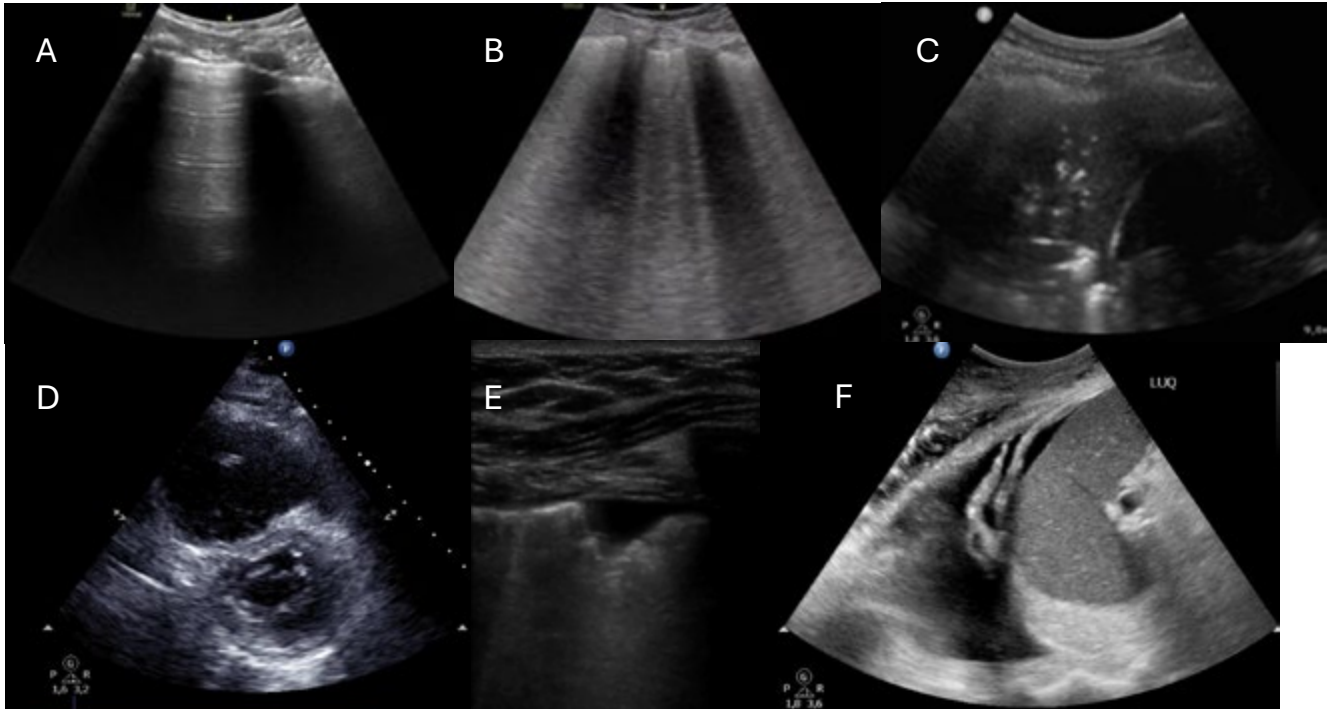
Keuhkokuva ja keuhkojen ultraääni sen haastajana – akutologin puheenvuoro

Keuhkokuva on varmasti edelleen yleisin rintakehän alueen päivystyksellinen kuvantamistutkimus. Se voi usein paljastaa hengenahdistuksen tai rintakivun syyn tai ainakin auttaa suuntaamaan diagnostista päättelyä ja jatkotutkimuksia. Vaikeasti akuutisti sairaalta potilaalta makuuasennossa otetun, yhden projektion kuvan anti on kuitenkin usein rajallinen, minä vuoksi tarvitaan täydentäviä tai korvaavia tutkimuksia (7).

Röntgenlaitetta ketterämmin liikuteltavat kaikukuvauslaitteet ovat nykyään käytettävissä kaikissa päivystyksissä, ja vierultraäänen käytön hallitsevien lääkäreiden joukko on kasvanut merkittäväksi. Ultraääni on vietävissä potilaan vierelle nopeasti, eikä tutkimusta suorittamaan tarvita henkilöstöä kuvantamisyksiköstä. Keuhkopussin ja keuhkokudoksen kaiku-



KUVA 5. Hengitysvaiheen vaikutus keuhkokudoksen tulkintaan. Uloshengityksessä keuhkokudos kuvautuu tiiviinä ja tautitilojen diagnostiikka vaikeutuu (A). Keuhkokudoksen arviointi onnistuu luotettavasti, kun kuvat otetaan syvään hengittäen ja hengityksen pidätyksen aikana (B). Kuva: Elina Kariniemi.



KUVA 6. Keuhkon ultraäänen esimerkkejä: normaali löydös (A), jossa pleuran liikkuvuus (“sliding sign”) sulkee pois ilmarinnan. Interstitiaalinen syndrooma B-line-löydöksellä keuhkokongestiossa (B). Alveolaarinen syndrooma, pneumoniaan sopiva konsolidaatio (C). Oikean kammion kuormitus (D). Subpleuraalinen konsolidaatio viitaten keuhkoemboliaan ja keuhkoinfarktiin (E). Pleuranestettä vasemmalla (F).

kuvauksen avulla päästään käsiksi useisiin akuuttitilanteissa keskeisiin tautitiloihin, varsinkin kun samalla tutkitaan sydän. Ääritilanteissa diagnoosiin ja hengen pelastavaan hoitopäätökseen voidaan päästä minuuteissa; esimerkkeinä paineilmarinta, sydäntamponaatio ja massiivinen keuhkoveritulppa (kuva 6). Septisen potilaan pneumonia voidaan osoittaa kaikukuvausella, ja siten selvittää infektiofokuksen sijaintia (12, 13).

Potilaan yksittäisestä thoraxröntgenistä saama säteily on vähäinen, mutta turhia säteitä on silti syytä välttää. Esimerkiksi ilmarinnan toteamisessa kaikukuvaus on sängyn hyvä, 90 %:n luokkaa. Sen avulla nuoren rintapistospotilaan ilmarintaepäily voidaan usein osoittaa aiheettomaksi ja jättää thoraxkuva ottamatta, ellei siihen ole muuta syytä. Samalla potilaan ruuhkaisessa päivystyksessä viettämä aika jää selvästi lyhyemmäksi. Voipa kaikukuvaus osaltaan auttaa hallitsemaan leikekuvantamisen tarve: kun sydämen vajaatoiminta ja keuhkokongestio voidaan osoittaa ultraäänellä, johtaa epämääräisesti kohonnut d-dimeeriarvo pienem-

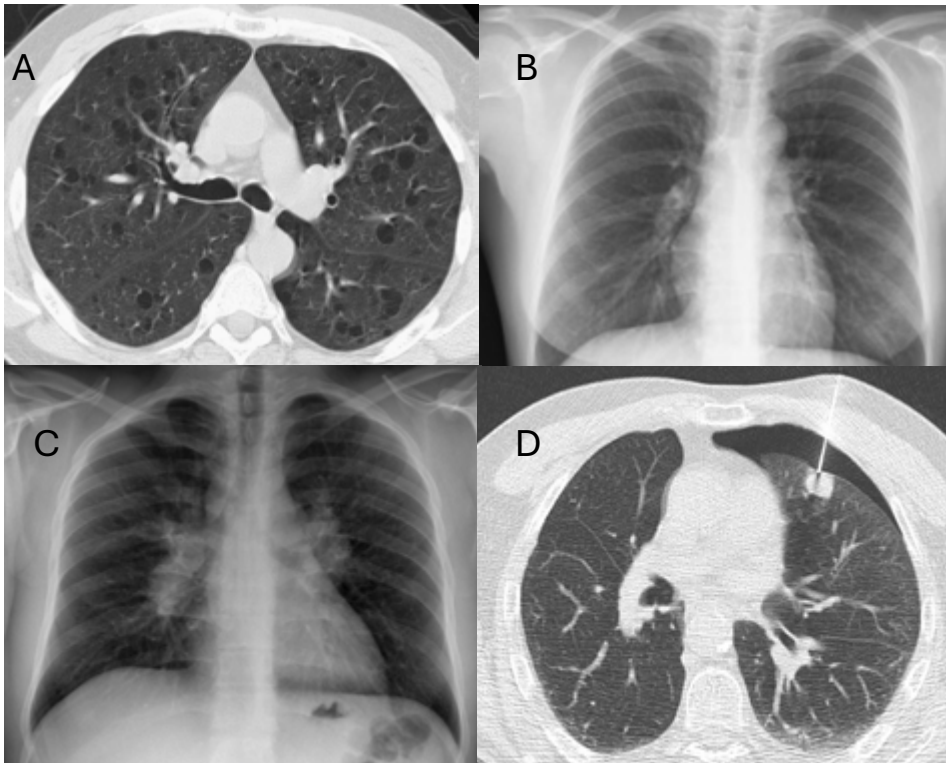
Keuhkokuva voi paljastaa hengenahdistuksen tai rintakivun syyn tai ainakin auttaa suuntaamaan diagnostista päättelyä ja jatkotutkimuksia.

mällä todennäköisyydellä keuhkoembolian TT-tutkimukseen (kuva 6).

Keuhkokuva on edelleen vakaa paikkansa päivystyskuvantamisessa. Joissain tilanteissa se kuitenkin voidaan jopa korvata kliinikon tekemällä sydämen ja keuhkojen kaikukuvausella, mikä tietenkin edellyttää harjoittelua ja riittävää osaamista. Vielä useammin kaikukuvaus täydentää thoraxkuvasta saatua tietoa ja auttaa epäselvien löydösten tulkinnassa (12, 13).

Milloin ja miksi ottaa keuhkokuva keuhkosairauksien selvittelyssä – keuhkolääkärin puheenvuoro

Keuhkokuva soveltuu hyvin matalan kynnyksen kuvantamistutkimukseksi perusterveydenhuoltoon esimerkiksi tupakoitsijan pitkittyneen yskäoireen tai obstruktiivisten keuhkosairauksien diagnostiikan yhteydessä sulkemaan pois ainakin riittäväällä varmuudella vakavampia tautitiloja. Kliinikon tulee kuitenkin luonnollisesti muistaa, ettei keuhkokuva tarkkuudella pystytä täydellä varmuudella sulkemaan pois kaikkia muutoksia ja että mahdolliset keuhkokuvalöydökset tai keuhkokuvasa todettu normaali status tulee aina suhteuttaa kliiniseen tilanteeseen ja vertailla löydöksiä mahdollisiin keuhkojen alueen aikaisempiin kuvantamisiin. Keuhkokuvaan helppoon saatavuuteen ja pieneen säteilyrasitukseen nähden keuhkokuvaan lähettämisen kynnyksen tulisi olla erityisesti perusterveydenhuollon toimipisteessä matala uuden keuhko- tai keuhkoputkipiperäiseksi ajatellun oireen yhteydessä, erityisesti riskiryhmään kuuluvilla (tupakoitsijat).



KUVA 7. Sattumalöydöksenä sepelvaltimoiden TT-kuvauksessa ilmi tulleet keuhkojen kystat osoittautuivat lymfangioleiomyomatoosiksi (A). Keuhkokuva oli normaali, sillä kystat eivät visualisotuneet keuhkokuvasa (B). Keuhkokuvasa todettiin hilaarinen lymfadenopatia, ja diagnoosiksi varmistui lopulta keuhkosarkoidoosi (C). Ilmarinta TT-ohjatun neulanäytteenoton yhteydessä (D).

Oireettomien ihmisten seulontamenetelmänä keuhkokuva voidaan käyttää rajatuissa tilanteissa, nykyisellään lähinnä maahanmuuttajien terveystarkastuksen yhteydessä tuberkuloosiseulontana tai henkilöille, jotka ovat altistuneet tuberkuloosille. Kaikkien oireettomien tupakoitsijoiden rutiininomaisesta keuhkokuvaselonnasta ei sen sijaan ole osoitettua hyötyä, mutta keskustelua on käyty tupakoitsijoiden keuhkojen pienannoksisesta TT-kuvaselonnasta, jolla voidaan mahdollisesti vähentää riskiryhmään kuuluvien keuhkosyöpäkuolleisuutta (14). Tämänkaltaisen seulonnan järjestämiseen vaikuttavat kuitenkin vahvasti yhteiskunnalliset resurssit ja niiden saatavuus seulontatutkimuksiin sekä seulonnan mahdollinen kustannusvaikuttavuus seulonnan kohteena olevassa populaatiossa.

Keuhkokuvalle on paikkansa erilaisten oireiden selvittelyjen yhteydessä. Vaikka keuhkokuvan perusteella ei useinkaan päästä definitiiviseen diagnoosiin, voidaan sen avulla suunnata tarpeelliseksi arvioituja jatkotutkimuksia löydöksen mukaan, ja ennen keuhkolääkärille lähettämistä keuhkokuva pidetään välttämättömänä tutkimuksena (ellei ole jo tehty tarkempaa kuvantamista esim. TT-tekniikalla).

Keuhkokuva toimii keuhkolääkärin näkökulmasta erinomaisena työkaluna myös seurantakuvausena erilaisten keuhkosairauksien yhteydessä. Keuhkolääkäri saattaa seurata esimerkiksi keuhkoparenkymisairauteen liittyvien keuhkomuutosten kehittymistä keuhkokuvan tarkkuudella, ja tietokonekuvausta tehdään tarkempaa arviona vain tarvittaessa. Tavallinen esimerkki keuhkojen seurantakuvaus tarpeesta perusterveydenhuollon näkökulmasta on keuhkoinfektion parantumisen kontrollointi, mutta keuhkokuvakontrollin tarvetta infektion jälkeen on kuitenkin viimeisimpien suositusten mukaan lyhennetty (15). Keuhkolääkäri käyttää keuhkokuva myös erilaisten toimenpiteiden jälkeisten komplikaatioi-

den pois sulkemisessa tai niiden diagnosoinnissa, esimerkiksi keuhkon TT-ohjatun neulanäytteen tai pleurapunktion jälkeen.

Keuhkolääkärin arvioon päätyy paljon erilaisia keuhkojen alueen sattumalöydöksiä, jotka ovat tulleet ilmi jonkin muun syyn takia tehdyn kuvantamisen yhteydessä (kuva 7). Viimeisten vuosien aikana mm. sepelvaltimoiden TT-kuvaukset ovat lisääntyneet, samoin kuin niissä todetut keuhkojen alueen sattumalöydökset, mikä on näkynyt myös keuhkolääkärin työssä. Sepelvaltimoiden TT ei useinkaan ole optimoitu keuhkojen alueen kuvantamiseen, ja/tai keuhkot eivät ulotu kuvausalueelle kokonaan, jolloin keuhkolääkäri yleensä tilaa tarkempaa arviona keuhkojen ohutleiketietokonetomografian (HRTT) tai thoraxin TT-kuvauksen. Sepelvaltimoiden TT-kuvauksessa voi sattumalöydöksinä tulla ilmi täysin hyvänlaatuisia ja terveydentilan kannalta merkityksettömiä löydöksiä mutta myös vakavampia, selvittelyä ja hoitoa vaativia löydöksiä, kuten keuhkojen kasvainmuutoksia, keuhkoparenkymisairauteen viittaavia löydöksiä tai välikarsinan poikkeavia imusolmuke-suurentumia. Sydänkuvantamisissa mahdollisesti todettujen keuhkojen alueen sattumalöydösten yhteydessä keuhkolääkärin konsultaatio jatkotutkimustarpeesta on usein aiheellinen (kuva 7).

Yhteenveto

Keuhkokuva on yhä erinomainen ensilinjan nopea, halpa ja pienen säteily määrän aiheuttava tutkimus. Se pitää pintansa uusien kuvantamismenetelmien rinnalla, usein näitä täydentäen. Keuhkokuva ohjaa monesti päivystyspotilaiden hoitoa ja tutkimuksia. Muista syistä otetuissa keuhkokuvasissa voi paljastua myös diagnosoimaton sydänsairaus. ■

Viitteet:

1. PAHO W. World radiography day: Two-thirds of the world's population has no access to diagnostic imaging. *Pan American Health Organization*. 2012
2. Galata C, Cascant Ortolano L, Shafiei I ym. Are routine chest x-rays necessary following thoracic surgery? A systematic literature review and meta-analysis. *Cancers*.2022;14(18): 4361.
3. SKS Ylilääkärikyselyn tulokset (SKS jäsenille) <https://www.fincardio.fi/kardiologia-suomessa/toimenpidemaarat/>
4. Morales MA, Prediletto R, Rossi G ym. Routine chest X-ray: Still valuable for the assessment of left ventricular size and function in the era of super machines?. *Journal of clinical imaging science*. 2012;2:25.
5. Käypä hoito -suositus: Sydämen vajaatoiminta. 2023
6. Sartini S, Frizzi J, Borselli M, ym. Which method is best for an early accurate diagnosis of acute heart failure? Comparison between lung ultrasound, chest X-ray and NT pro-BNP performance: a prospective study. *Internal and emergency medicine*,2017;12(6):861-869.
7. Gargani L, Girerd N, Platz E, ym. Lung ultrasound in acute and chronic heart failure: a clinical consensus statement of the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI). *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, 2023;24(12): 1569–1582.
8. Anttanainen, U. Hengenahdistus. Lääkärin Käsikirja. Luettu 1/2026.
9. Vuorinen, A-M. Keuhkokuvan tulkinta. Lääkärin Käsikirja [online]. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim, 2025 (luettu 1.3.2026). Artikkelin tunnus: ykt01111 (042.001). Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.terveysportti.fi/apps/dtk/ltk>
10. STUK 2018. Suomalaisten keskimääräinen säteilyannos. <https://stuk.fi/suomalaisten-keskimääräinen-säteilyannos>
11. Terveyskylä. Tietoa tutkimusten säteilyannoksista. 2025. <https://www.terveyskyla.fi/tutkimukseen/ennen-tutkimusta/tietoa-sateilysta/tietoa-sateilyannoksista>. Viitattu 1.3.2026.
12. Picano E, Scali MC, Ciampi Q & Lichtenstein D. Lung ultrasound for the cardiologist. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 2018;11(11):1692–1705.
13. Rocca E, Zanza C, Longhitano Y, ym.(2023). Lung ultrasound in critical care and emergency medicine: clinical review. *Advances in respiratory medicine*. 2023;91(3):203–223.
14. Lancaster HL, Heuvelmans MA, Oudkerk M. Low-dose computed tomography lung cancer screening: Clinical evidence and implementation research. *J Intern Med*. 2022 Jul;292(1):68–80.
15. Käypä Hoito -suositus. Aikuisten kotisyntyinen bakteerikeuhkokuume. 2024.

Sidonnaisuudet:

- Riitta Paakkanen: luentopalkkio (AstraZeneca, Bristol-Myers Squibb, Novartis Oy, Suomen kardiologinen seura, Suomen Radiologiyhdistys, Suomen Pfizer Oy), korvaus koulutukseen tuottamisesta (Bristol-Myers Squibb), työsuhde/luottamustoimi (Lääkärikeskus Aavan kardiologian vastuulääkäri, Suomen kardiologisen seuran Kuvantamisjaoston puheenjohtaja, Sydänäänen miniteemanumeron toimittaja, kliinisen säteilynkäytön auditoija; Aurevia oy), apuraha (Juhani Ahon säätiö, Suomen Kardiologinen Seura, AstraZeneca, Paavo Nurmen Säätiö).
- Ari Moilanen: Ei sidonnaisuuksia.
- Ollipekka Kailari: luentopalkkio (AstraZeneca), tukea työnantajan määräämiin ammatillisiin koulutuksiin (ALK, MSD), työsuhde/luottamustoimi (Lääkärikeskus Mehiläinen, Suomen Keuhkolääkäriyhdistys ry).
- Jani Mononen: työsuhde/luottamustoimi (Lääketieteellinen ultraääniseura ry).
- Aino-Maija Vuorinen: luentopalkkio (Suomen Kardiologinen Seura, Suomen Radiologiyhdistys, Suomen Röntgenhoitajat ry), osakkeet (Osgenic oy).

Ilmoitus

Tekoäly ja sen käyttö kuvantamisessa nyt ja huomenna

Suvi Syväranta, LT, radiologian erikoislääkäri, Hus Diagnostiikkakeskus, Radiologia

Juha Peltonen, TkT, sairaalafyysikko, Hus Diagnostiikkakeskus, Radiologia

Riitta Paakkanen, Dosentti, LT, kardiologian erikoislääkäri, Hus Uusi lastensairaala ja Helsingin Yliopisto

Tiivistelmä

Tekoäly teknisenä apuna on helpottanut kuvantajien työtä jo pidemmän aikaa. Osa tekoälyn tuomista muutoksista on jo niin oleellinen osa arkipäivää, ettei niitä välttämättä edes mielletä uudeksi teknologiaksi. Esimerkiksi ultraäänen, tietokonetomografian, isotooppikuvantamisen ja magneettikuvauksen automatisoidut analyysit säästävät aikaa ja tasaavat arvioijien välisiä eroja. Tulevaisuudessa sovellukset voivat monipuolisemmin yhdistää tietoja eri lähteistä sekä tuottaa ennusteita ja lausuntoja. Tekoäly ei todennäköisesti jatkossakaan korvaa ihmistä mutta voi muuntaa voimakkaasti työnkuva ja tapaa tehdä asioita nykyisestä. Ammattilaisten on tärkeää valmistautua ja varmistaa, että uutta teknologiaa otetaan käyttöön eettisesti ja kustannusvaikuttavasti.

Johdanto

Tekoäly ei ole enää tulevaisuutta vaan osa jokapäiväistä työtä etenkin kuvantamisessa. Erilaisissa teknisissä ratkaisuissa ja koneluennoissa on pikkuhiljaa siirrytty hyödyntämään tekoälyä yhä enemmän ilman että se välttämättä juurikaan näkyy käyttäjälle. Hyödyt voivat olla osin epäsuoria ja ilmetä esimerkiksi vähentyneinä sädeannoksina, laitteen sujuvampana käyttönä tai analyysien, lausumistyön tai kirjaamisen nopeutumisena. Esimerkiksi magneettikuvausta (MK) nopeuttavien tekoälysekvenssien vaikutukset heijastuvat kaikille erikoisaloille kuvausten parempana saatavuutena (1).

Diagnostiikassa tekoälyn käyttö säästää aikaa, tasaa laatua ja parantaa toistettavuutta. Riskit puolestaan liittyvät huonosti valmistettuun käyttöönottoon, jossa ei huomioida todellista vaikuttavuutta ja toiminnan muutoksia. Lisäksi tietosuo-

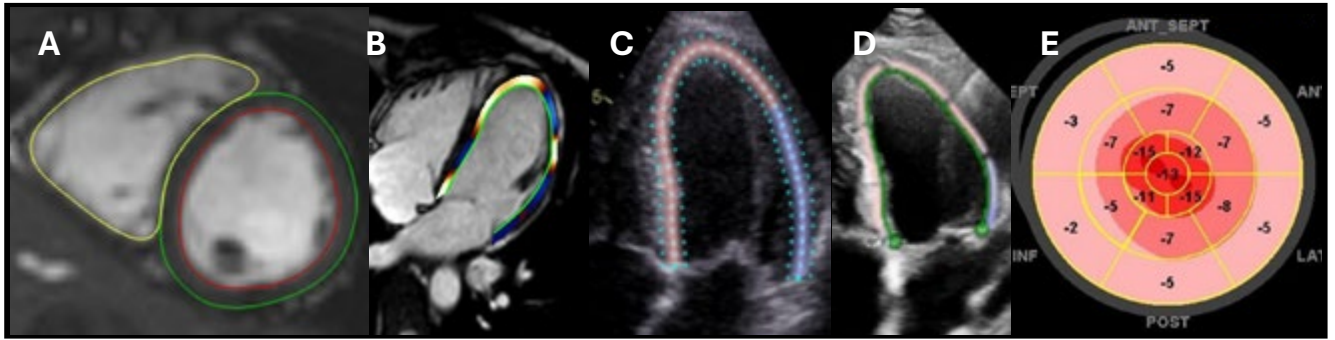
Taulukko 1. Tekoälyn käyttö eri ultraäänitutkimuksen vaiheissa

Parametri	Julkaistu näyttö (Viitteet 4, 15, 16)	Saatavilla Suomen yleisimmillä UÄ-laitteilla*
Kuvien laatu sekä kuvien ottaminen	Automaattinen kuvien tunnistus	X
	AI-ohjattu kuvien ottaminen	-
	Automaattinen kuvanlaadun parantaminen	X
Mittaukset	Automaattinen sydämen koon ja toiminnan mittaus (seinämät, lokerot, EF, strain)	X
	Automaattiset dopplermittaukset	X
	Automaattinen 3D-EF ja volyymin mittaus	X
Diagnoosi	Mitraalivuodon luokittelu	-
	Mitraaliprolapsi	-
	Automaattinen koko tutkimuksen reaaliaikainen kuvien mittaus ja raportin luominen	X**
	Automaattinen mitraalivuodon 3D-virtausmittaus	X***
Taudin ennustaminen	Aorttastenoosin eteneminen	-
	Diastologian vaikeus ja ennuste	-
	MK-kuvien fibroosin ennustaminen	-
Kuvien esittäminen	Fuusiokuvantaminen angiografialaitteiden kanssa	X
Tulevaisuudennäkymiä	Kuvatiedon yhdistäminen muiden modaliteettien tuloksiin	-
	Sydämenulkoisten tautien seulonta	-

* Henkilökohtainen tiedonanto 2/2206 S Repo (GE Healthcare) ja V Laiho (Philips Healthcare Systems).

** vaatii pilvipalvelun käytön

*** ks. Kuvantamisen uusia tuulia tässä teemanumerossa



KUVA 1. Esimerkkejä tekoälyavusteisista automaattisista ja puoliautomaattisista segmentaatiomenetelmistä eli sydänlihaksen tunnistamisesta ja sen analyyseistä. Terveen keski-ikäisen sydämen rakenne, jonka ohjelmisto on tunnistanut itsenäisesti automaattisesti magneettikuvasta (A). Oikea kammio on keltainen, vasen kammio punainen, vasemman kammion ulkoseinä vihreä. Saman henkilön vasemman kammion puoliautomaattisesti suoritettu strain-analyysi, jossa kone on tunnistanut ohjatusti vasemman kammion (B). Sydämen amyloidoosipotilaan puoliautomaattinen strain-analyysi eri laitevalmistajilla (C, D). Strain-analyysin tuottama kuva (E).

ja tulee huomioida, sillä osa tekoälysovelluksista voi vaatia ulkoisten palveluiden käyttöä.

Tekninen tausta

Oleelliset keksinnöt nykyisen tekoälyn nousun taustalla on tehty jo vuosikymmeniä sitten, mutta niiden tekninen hyödyntäminen suuressa mittakaavassa on tullut mahdolliseksi vasta viimeisten vuosien aikana. Ensimmäinen tekoälysovellus sydämen ultraäänikuvantamiseen on jo vuodelta 2018, jolloin keinoälymalli pystyi automaattisesti tunnistamaan eri näkymät (2). Sen jälkeen osoitettiin, että sydämen rakenteen ja toiminnan mittauksen automatisointi oli mahdollista (3). Tämän jälkeen on tullut useita julkaisuja, joissa tekoäly on pystynyt mm. tunnistamaan tiettyjä tautitiloja tai läppäviköitä ja ennustamaan tulevia tapahtumia (4). Osa tutkimuksista on tehty kymmenillä tuhansilla ultraäänikuvilla, joita voidaan käyttää takautuvasti tutkimuksen tekemiseen.

Käytännössä tekoälyn voidaan olettaa koostuvan useista oppivista, toisiinsa kytketyistä soluista, joita voidaan käsitellä rinnakkain miljoonittain tarkoitukseen erikseen suunnitelluissa prosessoreissa. Solmut voidaan valjastaa yhdistelemään erilaisia piirteitä monista eri lähteistä, kuten teksteistä, kuvista, näiden yhdistelmästä ja ylipäätään mistä tahansa digitaalisesta tiedosta. Vastaavasti opetetun tekoälyverkon tulos voi lopulta olla asioita luokitteleva, jonkin numeroarvon tuottava tai vaikkapa kokonaan uusi kuva (4). Oleellista kaiken tekoälyn kannalta on kuitenkin se, että sen tulokset perustuvat aina siihen materiaaliin, jota on käytetty sen opettamiseen – kaikkine vahvuuksineen ja heikkouksineen.

Nykyiset tekoälyn sovellukset kuvantamisessa

Radiologian kattavaan Radiology Health AI -rekisteriin on tämän artikkelin kirjoitushetkellä listattuna 298 CE- tai FDA-hyväksyttyä lääkinnällistä laitetta, joista 33 kuuluu kategoriaan ”Cardiac” (<https://radiology.healthairegister.com>). Näistä yli puolet liittyy tietokonetomografia- (TT) ja magneettikuvantamiseen, loput ultraääneen sekä isotooppikuvantamiseen. Lisäksi sydän on mukana monissa keuhkokuvan tulkintaan tarkoitetuissa sovelluksissa. Kaikki laitteisiin integroidut tai kardiolo-

gian sovellukset, kuten angiolaitteisiin liittyvä tekoäly, eivät ole rekisterin piirissä. Tekoälyä voidaan käyttää myös lausuntojen luonnosteluun (1, 4).

Ultraääni

Yksi ultraäänitutkimuksen haasteista on, että kuvien ja diagnoosin laatu riippuu vahvasti sekä tutkimuksen tekijän taitotasosta että näkyvyydestä. Tekoälystä on haettu ratkaisua tähän sekä toistomittauksen luotettavuuden parantamiseen (4). Sydämen ultraäänitutkimuksiin käytettävät tekoälypohjaiset hahmontunnistusalgoritmit ovat nykypäivää uusimmassa käyttöjärjestelmissä (taulukko 1). Ensimmäiset kaupalliset sovellukset, joihin puoli- ja täysin automatisoidut sydämen tunnistusalgoritmit on sisällytetty, ovat strain ja automaattinen ejektiofraktion mittausta (kuva 1). Nämä sovellukset ovat nykyään kliinisessä käytössä kaikissa yliopistosairaaloissa ja useassa keskussairaalassa. Uusimmissa laitteissa ja ohjelmissa niiden mittauksen valikoima, jotka voi tehdä automaattisesti, laajenee huomattavasti (taulukko 1).

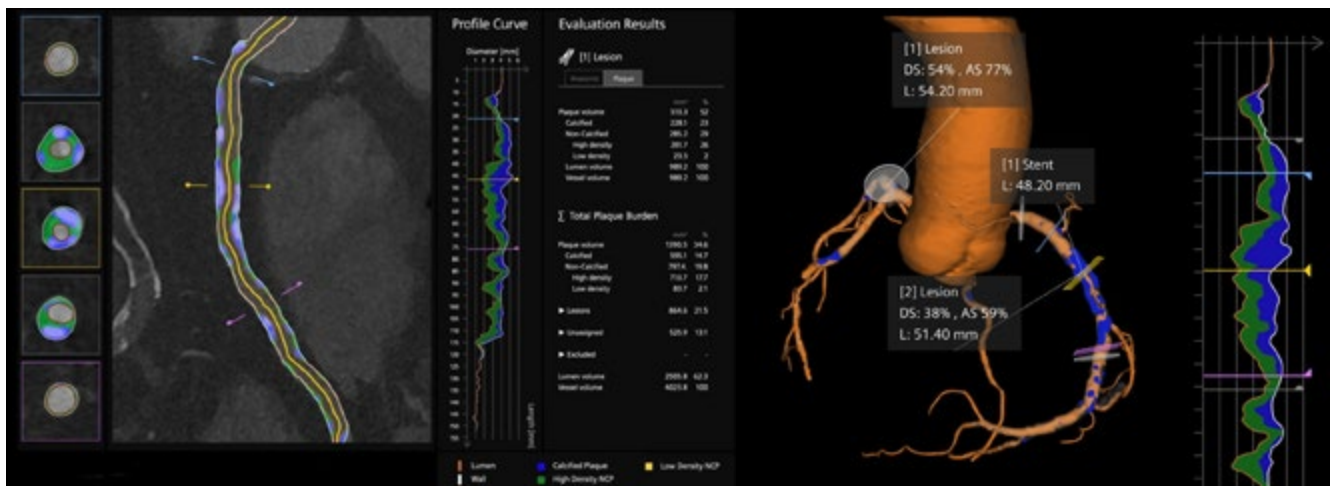
Koska ultraäänikuvien analyysit tehdään yleensä suoraan ultraäänilaitteen ohjelmistolla ja kaikki ohjelmistot ovat lähitökohtaisesti CE-merkittyjä, niitä voi yleensä käyttää potilaan tutkimuksissa. On tärkeää muistaa, että lääkärin on aina tarkistettava kaikki algoritmien tuottamat tulokset ja tarvittaessa säädettävä mittauksia.

Erilaisissa teknisissä ratkaisuisa ja koneluonnoissa on pikkuhiljaa siirrytty hyödyntämään tekoälyä enenevässä määrin ilman että se välttämättä juurikaan näkyy käyttäjälle.





KUVA 2. Esimerkki CE-merkityistä tekoälysovelluksista, joilla etsitään A) nilkan murtumaa ja mahdollista siirtymää ja B) ilmarintaa. Kuvat: Radiobotics (A) ja Aidoc (B).



KUVA 3. Esimerkkejä sepelvaltimotautitaakan tekoälyavusteista analyyseista. Yhdistettynä nykyaikaisiin kuvantamismenetelmiin (fotonilaskenta-TT) seinämämuutoksia voidaan arvioida aiempaa yksityiskohtaisemmin. Kuvat: Siemens Healthineers.

Natiiviröntgentutkimukset ja läpivalaisu

Natiiviröntgentutkimukset ovat tekoälykehityksen kannalta hyötyneet suuresta lukumäärästä ja suhteellisen vakioidusta toteutustavasta. Kliiniseen käyttöön edenneet tekoälysovellukset ovat jakautuneet kuvanlaatua parantaviin ja diagnostiisiin apuvälineisiin. Kuvalaadun parantamisessa tyypillisiä ovat kuvan kirkkauden ja jyrkkyyden automaattiset optimoinnit sekä kuvakohinan ja liikkeen tehokas vähentäminen, joita on myös angiolaitteissa. Diagnostisista apuvälineistä laajimpaan käyttöön ovat edenneet esimerkiksi potilaan luustoiän arvioivat sovellukset, erilaiset murtumia tunnistavat tekoälyt sekä

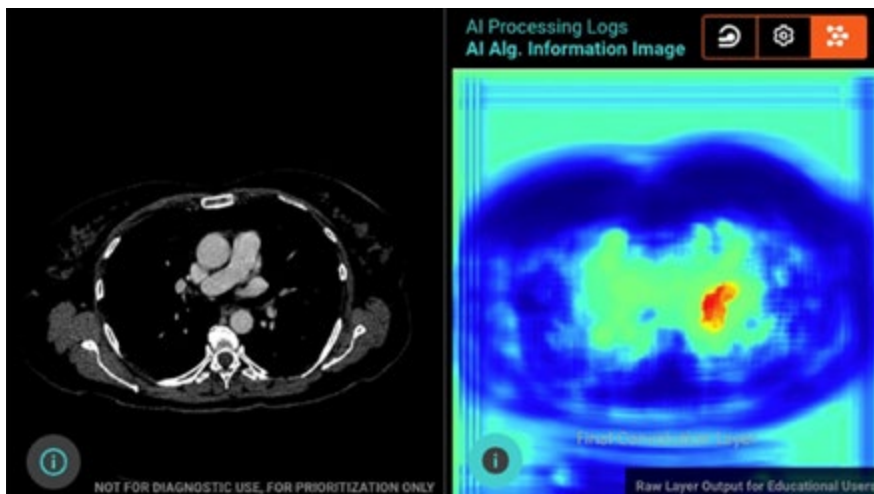
kuuhkuvien analyytit, jotka voivat havaita jopa yli sata erilaista löydöstä (kuva 2). Sydämeen liittyen kuuhkokuva-analyytien piiriin kuuluvat tyypillisesti sydämen vajaatoimintaan ja nestelastiin liittyvät löydökset ja vierasmateriaalit, kuten tahdistinjohdot. Myös kajoavaan angiografiaan on tarjolla useita diagnostiikassa avustavia sovelluksia (5).

Tietokonetomografia ja magneettikuvaus

TT- ja MK-analyysohjelmistoissa anatomisten alueiden rajaaminen on pitkälti tekoälyavusteista. Sydämen ja sepelvaltimoiden tietokonetomografiassa on yleensä automatisoitu tekoälyavusteisesti ainakin CaScore-analyysi, edistyneimmissä ohjelmissa paljon muutakin (kuva 3). Nämä työkalut helpottavat erityisesti aloittelevan sydänkuvantajan työtä ja vähentävät arvioijien välistä vaihtelua.

Lisäksi TT-kuvantamisessa voidaan tunnistaa automaattisesti useita sattumalöydöksiä, kuten sepelvaltimokalkkeja, osteoporoottisia murtumia, rasvamaksaa, keuhkonoduluksia ja keuhkoemboliaa (kuva 4). Ne voivat joskus jopa paljastaa oireiden syyn, mutta toisaalta käyttöönotoissa on käytettävä har-

Diagnostiikassa tekoälyn käyttö säästää aikaa, tasaa laatua ja parantaa toistettavuutta.



KUVA 4. Esimerkki CE-merkitystä tekoälysovelluksesta, joka tunnistaa keuhkoembolian ja esittää sen sijainnin leiketasossa värikartan avulla. Kuva: Aidoc.

kintaa, sillä sensitiivisyyden lisääntyminen voi aiheuttaa myös turhia jatkotutkimuksia ja hoitokomplikaatioita. Opportunistinen seulonta ei ilmiönä ole uusi, mutta tekoälyavusteisena se saa uudet mittasuhteet eikä aiheesta ole vielä kokonaisvaltaista kansainvälistä konsensusta (6).

Isotooppimenetelmät

Sydämen gammakuvauksessa tekoäly tunnistaa rutiinityönä sydänlihaksen rajat sekä laskee ejektiofraktion ja iskemiaprosentin. Myös radiovesitutkimuksen analyyseissä segmentaatio tehdään puoliautomaattisesti ihmisen ohjeiden perusteella. Hus kliinisellä fysiologialla on kehitetty tekoälyalgoritmi, joka varoittaa hoitajaa Teamsin kautta, jos luston gammakuvauksessa on viitettä sydänkertymästä, ja ohjaa häntä ottamaan kuvauksen aikana myös ns. sydänsarjat (7). Kliininen käyttöönotto vaatisi kuitenkin CE-merkinnän. Samassa yksikössä MK:ssa on käytössä tekoälypohjainen, kaupallinen kuvauksen nopeutus.

Tekoäly tulevaisuudessa

Kansainvälisessä kuvantamisdokumentissa esitellään kattavasti nykyisiä ja tulevia, kehitteillä olevia tekoälysovelluksia (1). Sovellukset, joilla pyritään vaikuttamaan potilasvalintaan tai kuvantamistutkimusten tai -ohjelmien käyttöön, ovat vielä varhaisella tutkimusasteella. Sen sijaan tekoälyohjelmistot, jotka tähtäävät tulevien tapahtumien ennustamiseen, ovat jo kohtalaisen pitkällä kehityksessään. Tämänhetkinen suuntaus on diagnostiikan tukiäly, jonka tulokset näkyvät esimerkiksi luokitteluna ja/tai riskiprosentteina, kuten kansallisesti jo laajasti käytössä olevassa natiiviröntgenkuvien murtumadektiossa (kuva 2). Tulevaisuudessa nämä analyysit voivat olla huomattavasti monipuolisempia ja ylittää nykyisen tyypillisen diagnostisen laajuuden. Samaan analyysiin voidaan syöttää esimerkiksi usean eri modaliteetin kuvantamistulokset, laboratorioarvot ja biopsiavastaukset. Suuret kielimallit ovat mahdollistaneet uudenlaisten työnkulkujen kehityksen. Tulevaisuudessa kuva- ja tekstianalyyseja yhdistelevät sovellukset voivat tuottaa myös lausuntotekstiä ja tekniikan ja lainsäädännön edelleen kehittyessä todennäköisesti myös toimia ilman ihmisen tapauskohtaista valvontaa.

Sovellusten tuottamat tulokset ovat nykyisellään jo osin varsin luotettavia. Rintasyöpäseulonnessa on päästy jopa tilanteeseen, jossa tekoälysovellus on satunnaistetuissa tutkimuksissa ylittänyt ihmisen suoritustason (8). Suurelta osin näytön aste on kuitenkin puutteellista. Yksi keskeinen haaste on tekniikan nopea kehitys, minkä vuoksi arvioitava sovellus saattaa tutkimuksen valmistuessa olla jo auttamattomasti vanhentunut, etenkin jos tutkimuspotilaiden rekrytointi on hidasta. Toisena haasteena ovat käytettävät tietojärjestelmät, joiden tarjoamien seurantatyökalujen puutteet rajoittavat laajamittaista käyttöä ja vaikuttavuuden arviointia.

Tekoälystä on toivottu pelastajaa niihin maailmanosiin, joissa resurssit ovat rajalliset. On visioitu, että tekoälyn käyttö parantaisi niin ultraäänikuvien ottamista, tulkintaa kuin diagnoosijakin, kun koulutettua henkilökuntaa voi olla vähän saatavilla (9). Esimerkiksi Intiaan on jo perustettu kokonainen kaupallinen seulontakeskus, jossa hyödynnetään pieniannoksisen TT:n (Low-dose computed tomography, LDCT), mammografian, luuntiheysmittausten ja silmänpohjatutkimusten tekoälytulkintaa.

Tekoälyn tietoturvallisuus

Tekoälyn tietoturvallisuus ei lähtökohtaisesti poikkea muiden tietojen analysointiin tarkoitettujen ohjelmistojen tietoturvalisuudesta. Käyttöönotoissa tulee noudattaa oman organisaation tietoturva- ja tietosuojakäytäntöjä ja varmistaa ohjelmistotoimittajan sitoutuminen niihin sopimuksia laadittaessa. Tietojen analysointi pilvipalveluissa on mahdollista EU-/ETA-alueella käyttäen asianmukaisia salauksia, jolloin tiedot voidaan yhdistää henkilöihin vain käyttäjäorganisaation järjestelmässä (10).

Tekoäly analysoi sille annettuja tietoja juuri sillä tavalla kuin sille on opetettu ja hyödyntää niitä käyttäjän osoittamissa rajoissa. Kaikissa järjestelmissä riskejä sisältyy kuitenkin tilanteisiin, joissa järjestelmä tahattomasti tai ulkoisesta vaikutuksesta vuotaa tietoja ulkopuoliselle tai muuttaa toimintaansa ennakoimattomasti. Erityisesti toiminnan muuttamisen havaitseminen tekoälyn tapauksessa on haasteellista, koska tarkka tulosten muodostuminen ei useinkaan ole selkeästi esitettävissä vaan kyse on enemmänkin mustasta laatikosta. Näin ollen esimerkiksi tekoälyohjelmiston uusi versio luulta-

Tekoälysovellusten käyttö on sallittua vain CE-merkinnässä ilmoitettuun käyttötarkoitukseen, eli off-label-käyttö on kiellettyä, mikä on erityisesti huomioitava käyttötavan valinnassa.

vasti tuottaa aina hieman aiemmasta eroavan tuloksen vähän eri tavalla. Sama piirre aiheuttaa suurimman tekoälyyn liittyvän riskin, koska periaatteessa muuttamalla ohjelmiston tekoälyverkkoa voidaan vaikuttaa suoraan sen tuottamiin tuloksiin. Tieteellisissä julkaisuissa on jopa esitetty tapauksia, joissa radiologiisiin kuviin voidaan tuottaa oikean näköisiä mutta epätodellisia piirteitä ennen niiden näyttämistä käyttäjälle (11).

Tekoälyn käyttöönotto radiologialla

Tekoälyn turvallinen ja tehokas käyttöönotto edellyttää sekä oman toiminnan että tekoälyohjelmistojen systemaattista, moniammatillista arviointia (12). EU:n tekoälylainsäädännössä ohjelmistot kuuluvat muiden lääkinällisten laitteiden tapaan korkean riskin järjestelmiin, jotka arvioidaan ennen julkaisua ja joiden käyttöä valvotaan.

Hus Radiologialla on käytössä prosessi, jossa radiologisairaala fyysikkotiimi arvioi käyttökohteita alustavasti ja käyttöön päätyvät sovellukset käyvät läpi vielä monialaisemman arvioinnin, kliiniset erikoisalut huomioiden. Myös tietohallinnon teknistä ja lakiasiantuntemusta tarvitaan integraatioita ja sopimuksia suunniteltaessa. Tekoälysovellusten käyttö on sallittua vain CE-merkinnässä ilmoitettuun käyttötarkoitukseen, eli off-label-käyttö on kiellettyä, mikä on erityisesti huomioitava käyttötavan valinnassa.

Tärkeää on arvioida vaikuttavuutta heti alusta alkaen ja pysäyttää prosessi mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, mikäli järjestelmässä havaitaan jokin kriittinen puute, kuten työläs käyttöliittymä, kapea-alainen käyttötarkoitus tai huono suoritustaso. Kukaan ei halua uusia käynnistettäviä ohjelmia työpöydälleen eikä monimutkaisia työnkuluja muistettavaksi. Mikäli tekoälytulos ei ole automaattisesti siirrettävissä järjestelmään, jossa muu työ tapahtuu, ei aikaa välttämättä säästy eikä toivottua hyötyä synny hyvälläkään suoritustasolla.

Toistaiseksi diagnostisten sovellusten arviointi edellyttää käytännössä omaa vertailuaineistoa, sillä yritysten esittelemät kansainväliset tulokset eivät välttämättä vastaa todellista suorituskäytännön, etenkin pohjoismaisessa ympäristössä. Suomalaiset kattavat rekisterit ja tietovarantoratkaisut antavat meille tähän hyvät lähtökohdat. Retrospektiivisen testauksen lisäksi tulee ylläpitää käytön aikaista laadunvalvontaa, jonka työläys riippuu käyttökohteesta, tuotteesta ja järjestelmäintegraatioista. Seuranta on tärkeää, sillä joko tuotteen tai käyttöympäristön muutokset voivat aiheuttaa odottamattomia seurauksia. Esimerkiksi mammografialaitteiston päivitys johti tekoälyavusteisessa rintasyöpäseulonnessa takaisinkutsuprosentin moninkertaistumiseen (13).

Detektioalgoritmeissa myös löydöksen esiintyvyyden muutoksilla aineistossa on merkittävä vaikutus positiiviseen ja negatiiviseen ennustearvoon. Tärkeää onkin tunnistaa ne potilasryhmät ja myös käyttäjät, jotka oikeasti hyötyvät tekoälystä. Tekoälyn kanssa työskentely vaatii sekä kliinistä että tekoälyasiantuntemusta, eikä sama sovellus tai käyttötapa ole todennäköisesti hyödyllinen sekä kardiologille että terveyskeskuspäivähoitajalle. Käytön hallitsematonta laajentumista ennakkoon selvitettyjen alueiden ulkopuolelle ilman huolellista jatkovalmistelua pitäisi aktiivisesti välttää. Asianmukainen koulutus tarkoituksenmukaiseen käyttöön sekä kattava tiedottaminen osallistavat henkilökuntaa, vähentävät epäluuloja ja takaavat turvallisen käyttöönoton.

Vaikutusten arvioiminen

Vaikutavuus ja sen arviointi riippuvat suuresti sovelluksen käyttökohteesta ja -tavasta, minkä vuoksi yleispätevien ohjeistuksien laatiminen on haastavaa. Kuvantamisessa hyötyjen arviointi on keskittynyt toistaiseksi enemmän puhtaasti tekniseen suorituskykyyn tietyssä tehtävässä, mutta painopiste on siirtymässä yhä enemmän vaikuttavuuden arviointiin (14). Yksittäisen toiminnon muuttaminen toimimaan sinänsä diagnostisesti huippulaatuisella tai aikaa säästävällä tekoälyllä ei vielä välttämättä muuta kokonaisuutta. Joskus suurin hyöty käyttöönotossa johtuu siihen liittyneestä työnkulun kehityksestä, ja tässä tulisikin välttää osaoptimoitua. Esimerkiksi hyödyn saaminen nopeutetuista magneettikuvauksista edellyttää koko kuvaukseen tähtäävän potilasvirran tehostamista.

Kliinisen käytön ja potilaiden hoitopolun on oltava ohjelmistojen arvioinnin keskiössä, ja hyötyjen ja riskien arvioiminen edellyttääkin hyvää sisältöosaamista. Välttämättä paras arvioija ei kuitenkaan ole teknisesti taitavin tai ammatillisesti pätevin vaan ennemmin tuntee erilaisia työskentelytapoja ja laajaa tilannekuvaa. Käytännössä hyvä käyttökokemus yhdistää monia arvioitavia teknisiä tekijöitä, kuten nopeutta, sujuvuutta ja tulosten luotettavuutta. Se ei kuitenkaan takaa kustannusvaikuttavuutta eikä todellista terveyshyötyä. Vähenevä rajahyöty voi tulla vastaan ja hyvin tarkoitukseen toimiva sovellus olla käytännössä hyödytön. Mini-HTA (Health Technology Assessment) tai vastaava kustannusvaikuttavuusanalyysi auttaa hahmottamaan kokonaisvaikutuksia, ja se on myös osa Hus Radiologian arviointimenettelyä.

Suoria haittoja on yleensä helppo arvioida mahdollisten väärin tulosten seurauksien kautta. Triagessa pitää muistaa arvioida myös negatiivinen triage, eli vaikutukset analyysien ulkopuolelle jääviin potilaisiin. Lisäksi piilevä sudenkuoppa tekoälyn käytössä ovat seurannaisvaikutukset, jotka ilmenevät epäsuorasti prosessiin aiheutuneesta muutoksesta (10). Näitä ovat esimerkiksi potilasmateriaalin tai työnkuvan muuttamisen vaikutukset koulutukseen, oppimiseen ja taitojen ylläpitoon (15).

Lopuksi

Lähes jokainen organisaatio selvittää tällä hetkellä kiivaasti, miten voisi hyötyä voimakkaasti kehittyvistä ja saataville tulevista tekoälytuotteista. Osa tuotteista saattaa vaatia niin laajaa käyttöönottoa, että taloudellinen ja koulutuksellinen kynnyksen huomattava ennen kuin tehdyille uhrauksille voidaan

olettaa saatavan tuottoa. Myös tietojärjestelmähaasteet käytön mahdollistamiseksi voivat olla huomattavia.

Käsiällä on kuitenkin mahdollisesti suurin teknologinen murros kuvantamisessa vuosikymmeniin, ja sen hyödyntämi-

nen edellyttää valmistautumista. Suurimmat hyödyt saavutetaan vasta, kun tekoälyn kanssa on kokeilujen kautta opittu työskentelemään ja näkemään uudet mahdollisuudet, joista kaikkia emme osaa vielä kuvitellakaan. ■

Viitteet

- Mastrodicasa D, Van Assen M, Huisman M, ym. Use of AI in cardiac CT and MRI: a scientific statement from the ESCR, EuSoMII, NASCI, SCCT, SCMR, SIIM, and RSNA. *Radiology*. 2025;314(1):e240516.
- Madani A, Arnaout R, Mofrad M & Arnaout R. Fast and accurate view classification of echocardiograms using deep learning. *NPJ digital medicine*. 2018;1(1):6.
- Zhang J, Gajjala S, Agrawal P, ym (2018). Fully automated echocardiogram interpretation in clinical practice: feasibility and diagnostic accuracy. *Circulation*. 2018;138(16):1623–1635.
- Sahashi Y, Ouyang D, Okura H & Kagiya N (2025). AI-echocardiography: Current status and future direction. *Journal of Cardiology*. 2025;85(6):458–464.
- Samant S, Panagopoulos AN, Wu W et al. Artificial Intelligence in Coronary Artery Interventions: Preprocedural Planning and Procedural Assistance. *Journal of the Society for Cardiovascular Angiography & Interventions*, Volume 4, Issue 3, 102519
- Eltorai AE, Parris DJ, Tarrant MJ, Mayo-Smith WW & Andriole KP. AI implementation: Radiologists' perspectives on AI-enabled opportunistic CT screening. *Clinical imaging*. 2024;115:110282.
- Halme HL, Ihalainen T, Suomalainen O, ym. Convolutional neural networks for detection of transthyretin amyloidosis in 2D scintigraphy images. *EJNMMI research*. 2022;12(1): 27.
- Gommers J, Hernström V, Josefsson V, ym. Interval cancer, sensitivity, and specificity comparing AI-supported mammography screening with standard double reading without AI in the MASAI study: a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, population-based, screening-accuracy trial. *The Lancet*. 2026; 407(10527):505–514.
- Hamza I, Pellikka PA, Abdulla A & Ahmad M. Artificial intelligence echocardiography in resource-limited regions: Applications and challenges. *Echocardiography*, 2024;41(10);e15939.
- Syväranta S, Mäkelä T & Hirvonen J. Tekoäly radiologiassa. *Erikoislääkäri*. 2025;35(3):77–80.
- Mirsky Y, Mahler T, Shelef I & Elovici Y. {CT-GAN}: Malicious tampering of 3d medical imagery using deep learning. In 28th USENIX Security Symposium (USENIX Security 19). 2019;pp. 461–478.
- Ketola JH, Inkinen SI, Mäkelä T, ym. Testing process for artificial intelligence applications in radiology practice. *Physica Medica*. 2024;128:104842.
- de Vries CF, Colosimo SJ, Staff RT, ym. Impact of different mammography systems on artificial intelligence performance in breast cancer screening. *Radiology: Artificial Intelligence*. 2023;5(3):e220146.
- Antonissen N, Tryfonos O, Houben IB, ym. Artificial intelligence in radiology: 173 commercially available products and their scientific evidence. *European Radiology*. 2025;1–11.
- Macnamara BN, Berber I, Çavuşoğlu MC, ym. Does using artificial intelligence assistance accelerate skill decay and hinder skill development without performers' awareness?. *Cognitive Research: Principles and Implications*. 2024;9(1):46.
- Barry T, Farina JM, Chao CJ, ym. The Role of Artificial Intelligence in Echocardiography. *Journal of Imaging*. 2023;9(2).
- Holste G, Oikonomou EK, Tokodi M, Kovács A, Wang Z, Khera R. PanEcho: Complete AI-enabled echocardiography interpretation with multi-task deep learning. *medRxiv*. Published online April 16, 2025:2024.11.16.24317431.

Sidonnaisuudet

- Suvi Syväranta: luentopalkkio (Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, Suomen radiologiyhdistys, Suomen Kardiologinen Seura, Suomen Lääkäriliitto, Suomen röntgenhoitajayhdistys, Suomen Thoraxradiologiyhdistys) ja osakkeet (Orion).
- Juha Peltonen: luentopalkkio (Suomen radiologiyhdistys, Suomen lääkäriiliitto, Siemens Healthineers Finland Oy) ja omistaja Fieldie Oy
- Riitta Paakkanen: luentopalkkio (AstraZeneca, Bristol-Myers Squibb, Novartis Oy, Suomen kardiologinen seura, Suomen Radiologiyhdistys, Suomen Pfizer Oy), korvaus koulutus-aineiston tuottamisesta (Bristol-Myers Squibb), työsuhde/luottamustoimi (Lääkärikeskus Aavan kardiologian vastuulääkäri, Suomen Kardiologisen Seuran Kuvantamisjaoston puheenjohtaja, Sydänäänän miniteemanumeron toimittaja, Aurevia Oy:n kliinisen säteilynkäytön auditoija) ja apuraha (Juhani Ahon säätiö, Suomen Kardiologinen Seura, AstraZeneca, Paavo Nurmen Säätiö).

Sepelvaltimotaudin riskinarviointi ja hoidon optimointi – kansallinen sydänohjelma valokeilassa

PAIKKAKUNNAT JA AJANKOHDAT

Oulu 21.4.2026 (hybriditilaisuus)

Kuopio 11.5.2026

Helsinki 8.9.2026 (hybriditilaisuus)

Turku 27.10.2026

Tampere 17.11.2026

Tilaisuuksien aloitusaika **klo 16.30**

Paikkakuntaakohtaiset ohjelmat löydät
fincardio.fi/koulutus/sks-koulutustilaisuudet/



AIHEET

Milloin hoidan pelkkää riskiä?

Vakaan sepelvaltimotaudin diagnostiikan dilemma – minkä testin valitsen?

Milloin lääkehoito ei yksin riitä vakaassa sepelvaltimotaudissa?

Sydämen ja munuaisten yhteispeli – kaksinkertainen uhka, moninkertainen riski?

Paneelikeskustelu: Miten saavutetaan kansallisen sydänohjelman tavoitteet?



TAVOITE

Oppia hallitsemaan kardiovaskulaaririskin arviointi ja vakaan sepelvaltimotaudin diagnostinen polku ja hoidon kulmakivet.



KOHDERYHMÄ

Kardiovaskulaaripotilaita hoitavat perusterveydenhuollon, työterveys-
huollon ja erikoissairaanhoidon lääkärit. Tilaisuuksiin voivat osallistua
myös lääkkeen määräämiseen oikeutetut ja työsuhteessa olevat
5. ja 6. vuosikurssin lääketieteen opiskelijat.



ILMOITTAUTUMINEN

Lisätietoja Tietoiskuista löytyy Suomen Kardiologisen Seuran
verkkosivulta fincardio.fi/koulutus/sks-koulutustilaisuudet/.
Ilmoittauduthan tilaisuuksiin verkkosivun kautta.



KOULUTUSTOIMINTAA 2026 TUKEVAT SOPIMUSPOHJAISILLA KOULUTUSTUELLA

Suomen Kardiologisen Seuran Tietoiskut 2026: Sepelvaltimotaudin riskinarviointi ja hoidon optimointi – kansallinen sydänohjelma valokeilassa

21.4.2026 Oulu, 11.5.2026 Kuopio, 8.9.2026 Helsinki, 27.10.2026 Turku, 17.11.2026 Tampere
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura. Tilaisuuksia tukee sopimus pohjaisella koulutusapurahalla Boehringer Ingelheim Ky.

Cardiology Grand Rounds Finland – etäluentosarja sydänpotilaita hoitaville lääkäreille

Ajankohdat vielä avoimna, seuraa nettisivuja
Järjestäjät: Suomen kardiologiprofessorit yhdessä Suomen Kardiologisen Seuran kanssa

Kohti vaikuttavampaa preventiota. Luentosarja primaari- ja sekundaaripreventiosta

21.4.2026 Kuopio, 26.5.2026 Turku, 8.9.2026 Oulu, 22.10.2026 Tampere, 19.11.2026 Helsinki
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, preventiojaos. Tilaisuuksia tukee sopimus pohjaisella koulutusapurahalla Abbott

Sydämen ruokatorviultraäänitutkimuksen peruskurssi

16.-17.3.2026, HUS Sydän- ja keuhkokeskus, Meilahden tornisairaala, Helsinki
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, kardiiovaskulaarikuvantamisen jaos

Elektrofysiologian peruskurssi

26.-27.3.2026, OYS, Oulu
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, rytmikardiologian jaos

Suomen Kardiologisen Seuran kevätkokous

15.-16.4.2026, Clarion Hotel Helsinki, Helsinki
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura

Tahdistinhoidon Pro-kurssi

17.4.2026, Meilahden sairaala-alue, Siltasairaala, Helsinki
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, rytmikardiologian jaos

Lasten sydämen ultraäänitutkimuksen peruskurssi

23.-24.4.2026, Solo Sokos Hotel Torni Tampere ja TAYS, lasten ja nuorten sairaala, Tampere
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, synnynnäisten sydänsairauksien jaos

Läppäpäivät

7.-8.5.2026, Helsinki
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, läppäsairauksien jaos. Tilaisuuksia tukevat sopimus pohjaisella koulutusapurahalla Edwards Lifesciences ja Medtronic Finland

Jököt Linnassa XV

21.-22.5.2026, Hämeenlinna
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, nuoret kardiologit jaos. Tilaisuutta tukevat sopimus pohjaisella koulutusapurahalla Boston Scientific, Bristol Myers Squibb ja Pfizer

Sydämen ultraäänitutkimuksen peruskurssi

28.-29.5.2026, Hilton Helsinki Kalastajatorppa, Helsinki
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, kardiiovaskulaarikuvantamisen jaos

Tahdistinhoidon peruskurssi

17.-18.9.2026, Lahti
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, rytmikardiologian jaos

Sydämen ultraäänitutkimuksen hands on -kurssi

24.-25.9.2026, Helsinki
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, kardiiovaskulaarikuvantamisen jaos

Suomen Kardiologisen Seuran syyskokous

30.9.-2.10.2026, Clarion Hotel Helsinki Airport, Vantaa.
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura. Tilaisuutta tukee sopimus pohjaisella koulutusapurahalla Bristol Myers Squibb

Sepelvaltimoiden TT hands on -kurssi

5.-6.11.2026, Kuopio
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, kardiiovaskulaarikuvantamisen jaos

Rytmipäivät 2026

26.-27.11.2026, Tampere-talo, Tampere
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, rytmikardiologian jaos

Sydämen ruokatorviultraäänitutkimuksen peruskurssi

marraskuu, Turku
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, kardiiovaskulaarikuvantamisen jaos

Angio-PCI peruskurssi

3.-4.12.2026, Oulu
Suomen Kardiologinen Seura, invasiivisen kardiologian jaos

Aorttäläppävikojen diagnostiikka ja hoito

syksy 2026, Helsinki
Järjestäjä: Suomen Kardiologinen Seura, läppäsairauksien jaos

SYYSKOKOUS



PROGRESS REPORT



TIETOISKUT



KOHTI VAIKUTTAVAMPAA PREVENTIOTA



LÄPPÄPÄIVÄT



Medtronic

JÖKÖT LINNASSA



Ilmoitus

Ilmoitus

Ilmoitus