

**Sari Kivistö**

Dos, yllilääkäri, radiologian erikoislääkäri

**Suvi Syväranta**LT, erikoistuva lääkäri  
HUS Diagnostiikkakeskus, Kuvantaminen,  
Meilahden sairaalan röntgen

# Sydämen ja sepelvaltimoiden tietokonetomografia- ja magneettikuvantaminen

Sydämen tietokonetomografia- ja magneettikuvantaminen on lisäänty-nyt, eikä tutkimusmäärien kasvu näytä lähiaikoina pysähtyvän. Sydämen kuvantaminen vaatii monialaista osaamista kardiologian, radiologian, kliinisen fysiologian ja isotooppilääketieteen aloilta sekä moniammatillista yhteistyötä röntgenhoitajien ja sairaalafysiikoiden kanssa. Tätä tukemaan on vastikään perustettu valtakunnallinen sydänkuvantamisen kaksivuotinen lisäkoulutusohjelma. Artikkelimme tarkoituksena on luoda käsitys modernien leikekuvantamismenetelmien suomista mahdollisuuksista perinteisten kardiologisten työvälineiden rinnalla sydänsairauksien tutkimisessa ja hoidossa.

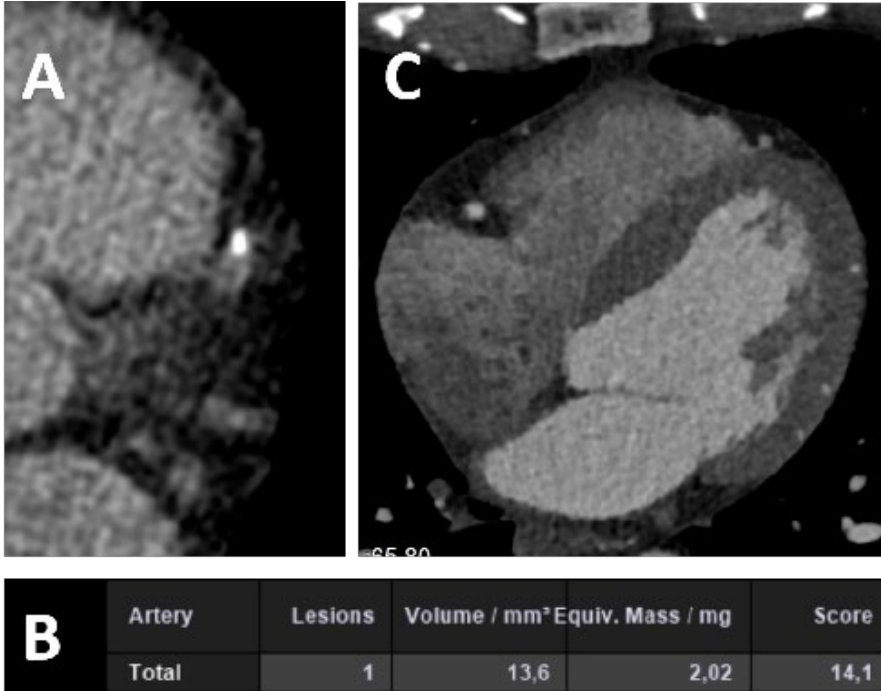
## Sydämen ja sepelvaltimoiden TT-kuvantaminen

Viimeaikainen laitekehitys on mahdollistanut sepelvaltimoiden tutkimisen tietokonetomografialla (TT). Uusimman ESC 2020 hoitosuosituksen, jota tuleva suomalainen hoitosuositus tulee pitkälti noudattamaan, sepelvaltimoiden TT on ensivaiheen tutkimus sepelvaltimotaudin diagnostiikassa lievän ja keskisuuren riskin potilasryhmässä

”**Sydämen uudet leikekuvantamistekniikat mahdollistavat sydänsairauksien entistä tarkemman diagnostiikan ja etenemisen seurannan.**

(1,2). Menetelmän negatiivinen ennustearvo ja sensitiivisyys ovat tutkimusasetelmasta riippuen yli 90 % luokkaa. Paikalliset käytännöt ja tutkimusten saatavuus voivat kuitenkin vaihdella, ja rasitus-EKG säilyy edelleen vaihtoehtoisena tutkimuspolkuna. Tarvittaessa sitä voi myös epäselvissä tapauksissa täydentää myöhemmin TT:llä.

Sepelvaltimotaudin ennakkotodennäköisyyden kasvaessa löydösten määrä lisääntyy, eikä niiden tulkinta pelkän TT-kuvauksen perusteella ole aina yksiselitteistä. Rajapintaiset (50-70 %) ja hemodynaamisesti merkittäviltä vaikuttavat (yli 70 %) löydökset vaativat tarkempaa varmistusta potilaskohtaisesti perfuusiitutkimuksella (PET-TT, SPECT) tai invasiivisella sepelvaltimoiden varjoainekuvauksella. Tämän vuoksi korkeamman riskin potilaat on järkevä ohjata suoraan tutkimuksiin, joissa on mahdollisuus edetä tällaiseen arviointiin tai hoitotoimenpiteisiin (3). Uudella FFR-sovellutuksella (fractional flow reserve) TT-kuvauksessa pystytään jatkossa myös tarkemmin arvioimaan ahtaumien hemodynaamista merkittävyyttä (4). Tätä kautta sensitiivisyys paranee ja jatkotutkimustarve tulevaisuudessa vähenee.



Kuva 1. Sepelvaltimoiden TT-kuvaus. Ilman varjoainetta otetussa kuvasarjassa (A) vasemmassa sepelvaltimossa näkyy seinämäkalkki, jonka Agatston indeksin mukainen Calcium Score on 14 (B). C) Varjoainesarja on ajoitettu niin, että sydämen vasen puoli ja sepelvaltimot ovat varjoainettyt.

vaa anatomiaa. Jos potilaalla on vasta-aihe sydämen magneettikuvaukseen, voidaan kammioiden kokoa ja funktiota tutkia tarvittaessa myös TT:llä. Tällöin tutkimuksen aiheuttama sädeannos jonkin verran kasvaa. Rinta-aortan kohtisuorat dimensiot on myös mahdollista määrittää tarkasti TT-kuvista. Sepelvaltimo-TT:n käyttö sepelvaltimotaudin preoperatiivisena poissulkututkimuksena ennen läppä- tai aorttakirurgiaa on viime vuosina lisääntynyt.

### TT-kuvauksen vasta-aiheet ja haitat

Sydämen ja sepelvaltimoiden TT-kuvauksen vasta-aiheina voidaan pitää nopeaa tai epäsäännöllistä sydämen rytmää, kyvyttömyyttä ymmärtää tai noudattaa hengityspidätysohjeita, vaikea-asteista obeositeettia, jodiyliherkkyyttä, ASO-tautia tai munuaisten vajaatoimintaa. Esilääkityksenä käytetään tavallisimmin beetasalpaajia ja nitroglyseridiä. Kuvanlaadullisesti parhaimpaan lopputulokseen päästään sydämen sykkeen ollessa tasainen ja alle 65/min. Säteilyn käytön minimoinnissa sykkeen lääkitseminen optimaaliseksi on edelleen keskeinen tekijä. Tämän lisäksi uudet kuvaussovellukset, kuten pidemmät detektorit, mahdollistavat pidemmän kuvausalueen ja nopeampi sydämen kuvaus optimissaan yhden RR-välin aikana vähentää kokonaissädeannosta parhaimmillaan jopa alle 1 mSv:iin.

### Sydämen magneettikuvaus

Sydämen magneettikuvauksen kliiniset käyttöaiheet ovat viime vuosina laajentuneet. Yleisimpiä kuvausaiheita ovat synnynnäiset sydänviat ja niiden vuosittainen seuranta, kardiomyopatioiden, amyloidoosin ja muiden kertymäsairauksien, myokardiittien ja inflammatoristen sydänlihassairauksien diagnostiikka ja poissulku, aortta- ja

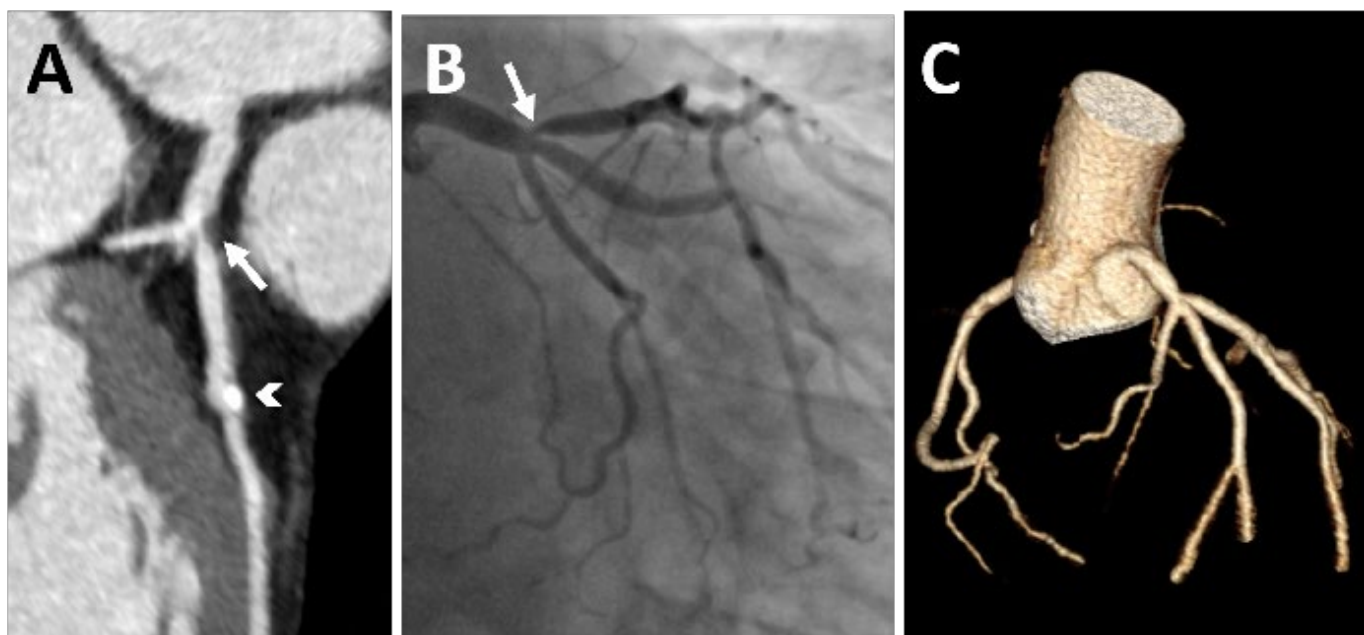
### TT:n käytännön toteutus ja löydökset

Sepelvaltimoiden TT:ssä kuvataan ensin koko sydämen alue ilman varjoainetta verisuoni- ja läppäkalkkien selvittämiseksi (Kuva 1). Sepelvaltimoiden seinämäkalkkien määrä mitataan ja raportoidaan Agatston indeksillä (Calcium score). Indeksini on osoitettu korreloivan sydänperäisiin päätetapahtumiin ja pelkästään sen perusteella voidaan jos osin arvioida sepelvaltimotaudin vaikeusastetta (4). Mikäli kalkit ovat erittäin runsaita, voidaan varjoainesarja jättää kuvaamatta, sillä ahtaumien astetta ei pysty luotettavasti kalkkien välistä arvioimaan.

Kalkkimäärityksen jälkeen kuvataan sydämen alueelta ja tarvittaessa laajemminkin EKG-tahdistettu varjoainesar-

ja, joka on ajoitettu arteriavaiheeseen siten että sydämen vasen puoli, sepelvaltimot ja nouseva aortta kuvautuvat varjoainettyinä (kuva 1). Tarvittaessa perään kuvataan vielä laskimovaihe esimerkiksi trombin poissulkemiseksi hitaasti täytyvästä vasemmasta eteiskorvakkeesta.

Sepelvaltimoiden ateroskleroosimuutokset (kuva 2), anomaliat, fistelit, aneurysmat sekä sepelvaltimo-ohitteet näkyvät TT:ssä yleensä luotettavasti. Edellä mainittujen indikaatioiden lisäksi sydäntä voidaan kuvata EKG-tahdistetusti epäiltäessä poikkeavaa keuhkolaskimopaluuta tai sydämen sisäistä oikovirtausta, trombeja tai tuumoreita, perikardiumin poikkeavuutta tai puutosta, läppäkalkkeutumia tai synnynnäisissä sydänvioissa poikkeava-



Kuva 2. Sepelvaltimoahtaus. A) Vasemman sepelvaltimon lumenin myötäisesti rakennetuissa TT-kuvissa näkyy a-osan tyvessä ateroskleroosiplakin aiheuttama ahtaus (nuoli) ja distalisemmin sekamuotoinen plakki, jossa on sekä kalkkia että kalkkeutumaton muutosta (nuolenkärki). B) Ahtaus varmistui invasiivisessa angiografiassa, jossa ahtauttamaton muutos ei erotu kuten TT-kuvissa. C) TT-kuvista voidaan rakentaa myös kolmiulotteinen malli, josta anatomia on helposti hahmotettavissa.

pulmonaalivuodon vaikeusasteen määrittäminen, sekä tuumorien karakterisaatio.

Sydämen magneettikuvaksessa sydämen lokeroiden tilavuudet ja funktiot voidaan määrittää nopeilla kinekuvasarjoilla (6). Kuvauksen etuna ultraääneen verrattaessa on parempi toistettavuus, kohtisuorien projektioiden tarkka määrittäminen ja oikean puolen lokeroiden optimaalinen näkyvyys. Kuvauksuuksien onnistuminen edellyttää kuitenkin röntgenhoitajilta erityistä perehtyneisyyttä ja hyvää moniammatillista yhteistyötä.

Magneettikuvauksessa sydänlihaskudoksen karakterisaation mahdollisuus on myös erinomainen. Tutkimuksessa voidaan määrittää sydänlihaksen ödeema, perfuusioalenumat ja solunulkoisen tilavuus (6,7). Niiden määrän ja lokalisaation avulla voidaan selvittää sydänlihaksen inflammaatiota, fibroosia

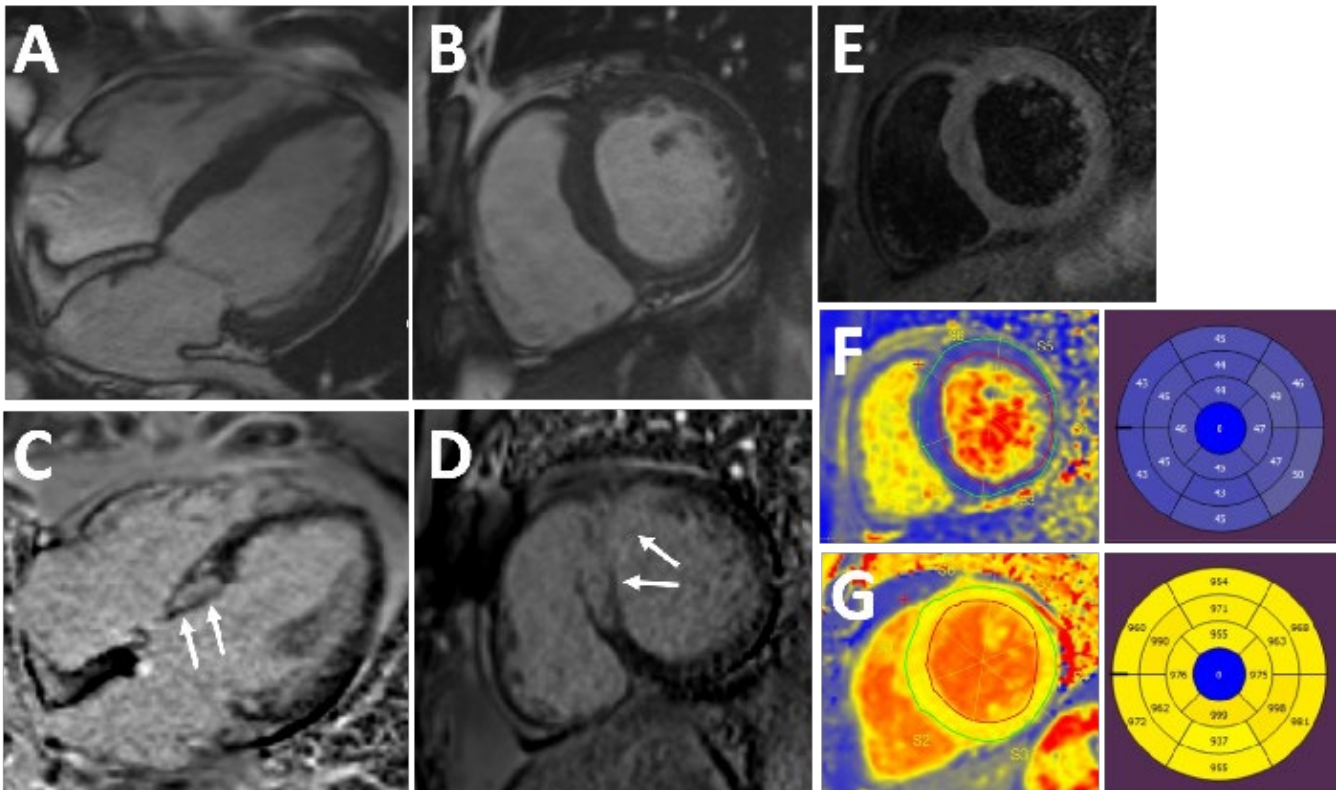
ja arpia (Kuva 3). Kuvaustekniikat ovat näiltä osin edistyneet viime vuosina, ja perinteisten ödeema- ja jälkitechostumakuvien rinnalle on tullut T1- ja T2-relaksaatioaikoihin perustuvia kartoitusmenetelmiä (mapping). Ne näyttävät nämä muutokset aiempaa herkemmin ja niitä hyväksikäyttäen voidaan tutkia myös kertymäsairauksia, kuten rautakertymää, Andersson-Fabryn tautia tai amyloidoosia.

Tulkinnassa potilaan esitiedot, sepelvaltimoiden tila, tuoreen ultraäänitutkimuksen tiedot, keskeiset laboratoriotulokset ja EKG auttavat olennaisesti hahmottamaan kokonaisuutta ja tarkentavat diagnostiikkaa. Usein magneettikuvauksen avulla voidaan kohdentaa myös sydänlihaskudoksen biopsiaa ja tehdä tehokkuuden laajuuden perusteella päätelmiä laitehoitojen tarpeesta.

Viime vuosina myös pulmonaali- ja aorttavuotojen vaikeusasteen määrittä-

preoperatiivisesti virtausmittausten avulla on tullut yhä suosittumaksi. Myös stenoosivikoja voidaan arvioida, ja pulmonaalistenoosin arvioinnissa virtausmittauksia käytetäänkin usein. Sen sijaan muiden stenoosivikojen ja eteis-kammioaloppien vuodon määrittäykset eivät vielä ole vakiintuneita käytäntöjä. Uusin virtausmittaustekniikka on kolmiulotteinen 4D-virtausmittaus, joka mahdollistaa turbulენტtien virtausten tarkemman arvioinnin. Tästä voi olla hyötyä erityisesti vaikeiden synnynnäisten sydänvikojen tutkimisessa ja seinämäkuormitusten arvioinnissa (8). Tällä hetkellä kuvaukssekkvenssin kesto on melko pitkä, noin 15 min, ja tekniikan käytön sovellutukset ovat edelleen tutkimusasteella.

Uusia sydämen magneettikuvauksensovelluksia ovat myös strain-menetelmät, jotka ultraäänitutkimuksen tavoin mittaavat myokardiaalista tai



Kuva 3. Sarkoidoosi sydämen magneettikuvauksessa. A-B) Anatomiset sydämen pitkän ja lyhyen (poikittais-)akselin kuvat. C-D) Vastaavien suuntien jälkitechostumakuvat, joissa normaalisti mustana kuvautuvassa sydänlihaksessa nähdään laaja, inflammatoriseen sydänlihassairauteen sopiva tehostuma kammioväliseissä (nuolet). Nesteherkässä kuvasarjassa (E) tai T2-ödeemakartassa (F) ei näkynyt akuuttia sydänlihasturvotusta ja sydänlihaksen T1-natiiviartot (G) olivat tällä potilaalla normaalialueella.

endokardiaalista liikettä systoleissa ja diastoleissa. Niiden avulla voidaan havaita jo varhaisia muutoksia esimerkiksi sydäntoksisien lääkkeiden aiheuttamissa vaurioissa. Myös eteisten liikkeiden määrittäminen strain-menetelmällä on mahdollista ja kiinnostava tutkimusaspekti. Kansainvälisesti käytössä on myös sydämen perfuusio-MK lääkkeellisessä rasituksessa, jonka rooli isotooppikuvausten rinnalla jää jatkossa nähtäväksi.

#### Magneettikuvauksen vasta-aiheet

Ehdottomia kontraindikaatioita magneettikuvaukselle on vähän. Rikkinäiset ja hylätyt, tulppaamattomat tahdistinjohtot tai ICD eli rytmihäiriötahdistin,

pehmytosissa olevat sirpaleet, vaikeasteinen klaustrofobia tai kyvyttömyys olla paikallaan tutkimusputkessa vähintään puolen tunnin ajan ovat niistä tavallisimmat. Nykyiset varjoaineet ovat munuais- ja allergiaystävällisiä. Perustahdistimiakin voidaan kuvata magneettikuvausprotokollaa noudattaen. Tällöin tahdistinkardiologi säätää tahdistimen sopivaan tilaan kuvausta edeltävästi ja sen jälkeen (9). Sydämen magneettikuvaus edellyttää potilaalta erityisen hyvää kooperaatiota pitkän kuvausajan ja hengityspidätysten takia, joten potilaan kunto ja mahdollinen esilääkityksen tai tulkin tarve on tärkeää selvittää ennen kuvausta. Runsas pleuraneste tulisi punktoida ennen kuvausta

kuvanlaadun optimoimiseksi.

#### Lopuksi

Kaiken kaikkiaan sydämen uudet leikekuvantamistekniikat mahdollistavat sydänsairauksien entistä tarkemman diagnostiikan ja etenemisen seurannan. On huomion arvoista, että toisaalta löydökset ja niiden tulkinta asettavat uusia haasteita. Kuvauksien onnistumiseksi tarvitaan myös perehtyneitä sairaalafyysikkoja ja röntgenhoitajia. Eri erikoisalojen rajapinnoilla liikuttaessa korostuu monialainen osaaminen ja yhteistyö. HUSissa on toiminut n. 15 vuoden ajan sydäntiimi, jossa on työskennellyt sydänkuvaukseen perehtyneitä radiologeja, kardiologeja ja viimeisim-

pänä myös kliinisen fysiologian ja isotooppilääketeen erikoislääkäreitä. Tiimityöskentely mahdollistaa tutkimustulosten yhteenvedon ja luotettavan arvioinnin ja siten laadukkaamman diagnostiikan. Tänä vuonna alkaa Helsingin lisäksi Turussa ja Kuopiossa valtakunnallinen sydänkuvantamisen kaksivuotinen lisäkoulutusohjelma, jossa radiologian, kardiologian tai kliinisen fysiologian erikoislääkärit voivat saada näillä kolmella erikoisalalla sydänkuvantamiseen syventävää lisäkoulutusta.

Sydänkuvausten lukumäärän ja mahdollisuuksien kasvun myötä tulevaisuudessa yliopistosairaaloissa ja keskussairaaloissa tulisi tehdä enenevässä määrin sepelvaltimoiden ja sydämen TT-tutkimuksia ja perustason sydämen magneettidiagnostiikkaa. Vaativien sydänvikojen, kuten synnynnäisten sydänvikojen, ja sydänsiirtopotilaiden kuvantaminen ja hoito kannattaa kuitenkin keskittää jatkossakin suurempiin keskuksiin. Toivoaksemme saamme lisäkoulutusohjelman turvin koulutettua sydänkuvantamisen syväosaajia riittävästi valtakunnallisiin tarpeisiin.

#### Kirjallisuutta

1. Knuuti, J., Wijns, W., Saraste, A., ym. ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J*, 41 (2019), pp. 407-477.
2. Jagat Narula, J., Chandrashekar, Y., Ahmadi, A., ym. SCCT 2021 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: A report of the society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, Epub 2020 Nov 19. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2020.11.001>.
3. Taylor, A.J., Cerqueira, M., Hodgson, J.M., ym. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 4 (2010)407 e1-33.
4. Schuijff, J.D., Ko, B.S., Di Carli, M.F., ym. Fractional flow reserve and myocardial perfusion by computed tomography: a guide to clinical application. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 19 (2018), pp. 127-135.
5. Hecht, H., Blaha, M.J., Berman, D.S., ym. Clinical indications for coronary artery calcium scoring in asymptomatic patients: Expert consensus statement from the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 11 (2) (2017), pp. 157-168.
6. Kramer, C.M., Barkhausen, J., Bucciarelli-Ducci, C. ym. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 22, 17 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00607-1>.
7. Schulz-Menger, J., Bluemke, D.A., Bremerich, J., ym. Standardized image interpretation and post-processing in cardiovascular magnetic resonance - 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 22, 19 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00610-6>.
8. Azarine, A., Garçon, P., Stansal, A., ym. Four-dimensional Flow MRI: Principles and Cardiovascular Applications. *RadioGraphics* 2019 39:3, 632-648.
9. Vuorinen, A.M., Pakarinen, S., Jaakkola, I., ym. Clinical experience of magnetic resonance imaging in patients with cardiac pacing devices: unrestricted patient population. *Acta Radiol*. 2019 Nov;60(11):1414-1421. doi: 10.1177/0284185119830288.