

Sepelvaltimoiden TT-kuvaus: Tekniikka, käyttöaiheet ja rajoitukset

SAMI KAJANDER

HEIKKI UKKONEN

JUHANI KNUUTI

Johdanto

Sepelvaltimoiden tietokonetomografia on viime vuosina kehittynyt laajalti käytetyksi kajoamattomaksi sydänkuvantamismenetelmäksi (Bluemke ym. 2008, Schroeder ym. 2008). Sen käyttöaiheet ovat yhä muotoutumassa. Tästä huolimatta tutkimusten lukumäärä on maailmanlaajuisesti kasvanut voimakkaasti samalla kun tekniikka on kehittynyt. Menetelmä on parhaimmillaan sepelvaltimotaudin pois sulkemisessa stabiilia rintakipua potevilla, joilla ahtauttavan taudin todennäköisyys on pieni tai enintään kohtalainen. Myös ohitusleikkaussiirteiden ja suurten stenttien arviointi onnistuu hyvin. Uusimpien laitteiden aiheuttama sädeannos on kohtuullinen. Menetelmä ei kuitenkaan sovellu potilaille, joilla on runsaasti lisäyöntejä, eteisvärinärytmi tai munuaisten vajaatoiminta. Runsaat sepelvaltimoiden kalkkiutumukset ovat edelleen ongelma sepelvaltimoahtauman arvioinnissa.

Tekniikka

Röntgenperiaatteella toimivan tietokonetomografian ilmaisinkerä pyörii potilaan ympäri samanaikai-

sesti röntgenputken kanssa. Kuva muodostetaan tietokoneen avulla potilaan läpi kulkeneen säteilyn vaimenemaa mittaamalla. Syntynyt kuva, tietokonetomogrammi, muodostuu harmaasävyistä jotka kuvaavat röntgensäteen läpäisemän aineen tiheyttä tietystä kehon osasta. Ns. monileiketietokonetomografissa (MDCT) ilmaisinerivejä on useita, jolloin yhden ilmaisinkerän pyörähdysten aikana saadaan tietoa suuremmalta alueelta. 64 ilmaisineriviä sisältävät laitteet ovat tällä hetkellä uusista laitteista yleisimpiä, ja ne soveltuvat hyvin myös sepelvaltimoiden kuvantamiseen. Tällaisella laitteella voidaan kuvantaa sydän EKG-tahdistetusti 6–12 sekunnissa. Uusimmissa, 320 ilmaisineriviä käsittävissä laitteissa on jopa mahdollisuus kuvata koko sydän yhden ilmaisinkerän pyörähdysten aikana.

Tietokonetomografian tiheydenerotuskyky on huomattavasti parempi kuin natiiviröntgenkuvauksen mutta ei magneettikuvauksen veroinen. Paikanerotuskyky puolestaan on erinomainen. Laitteiston hyvä ajanerotuskyky on myös keskeistä, sillä se määrää, kuinka hyvin sepelvaltimoiden liike saadaan pysäytetyksi. Useimpien uusien laitteiden pyörähdysten kesto on noin 330–400 ms, jolloin ajanerotuskykyksi muodostuu 165–200 ms. Jos sydämen syke on nopea, tämäkään ei riitä, vaan kuviin jää kohteen liikkeestä aiheutuvia häiriöitä. Markkinoilla on myös kahta erillistä röntgenputkea käyttävä laite, jolla ajanerotuskyky on alle 100 ms. Sen merkittävin etu on mahdollisuus kuvata potilaita myös silloin, kun syketaso on nopea tai epäsäännöllinen.

Laitteen ja ohjelman mukaan tahdistus voidaan tehdä joko etukäteen (prospektiivinen tahdistus) tai kuvauksen jälkeen (retrospektiivinen tahdistus). Prospektiivisellä tahdistuksella tehdyssä tutkimuksessa kuvataan vain etukäteen valitussa kohdassa sydämen



sykliä, yleensä loppudiasstoessa. Menetelmän etuna on pienempi sädeannos, mutta haittana suurempi herkkyys sydämen rytmin vaihteluille.

Retrospektiivisessä tahdistuksessa laite kuvaa jatkuvasti koko EKG-syklin ajan. Datasta voidaan jälkikäteen rekonstruoida ne kohdat, joissa sepelvaltimot näkyvät parhaiten. Vain retrospektiivinen tahdistus mahdollistaa sydämen toiminnan arvioimisen.

Käyttöaiheet

Sydämen tietokonetomografian alkuaikojen sovellukset liittyivät lähes yksinomaan sepelvaltimoiden kalkkiutumien arviointiin, ja tutkimuksissa käytettiin kallista ja harvinaista elektronisädetietokonetomografia (EBCT) (Agatston ym. 1990). 1990-luvulta lähtien moni-ilmainsintekniikan nopea kehittyminen (MDCT) on kuitenkin mahdollistanut myös sepelvaltimoiden kajoamattomat angiografiat (CTA) sekä sydänlihaksen ja sydänpussin tutkimisen (Fischbach ym. 2007).

Epikardiaaliset sepelvaltimot ovat mutkaisia, läpimitaltaan suhteellisen pieniä ja jatkuvassa liikkeessä, mikä tekee niistä vaikean kuvattavan. 16-leikkeiset laitteet mahdollistivat sepelvaltimokuvaukset, mutta laajempi kliininen käyttö sepelvaltimokuvauksiin alkoi vasta 64-leikelaitteiden leviämisen myötä.

Sepelvaltimotaudin diagnostiikka

Valtaosassa vertailevista tutkimuksista on mitattu TT-angiografian osuvuutta kajoavassa sepelvaltimokuvauksessa todetun yli 50 %:n ahtauman osoittamisessa. Ahtauttavan sepelvaltimotaudin esiintyvyys on ollut tutkittavilla keskimäärin 60 %. Tässä asetelmassa sepelvaltimoiden tietokonetomografian sensitiivisyys on keskimäärin 85–99 % ja spesifisyys 94–98 %. Menetelmän arvoa sepelvaltimoahtaumien poissulkemisessa kuvaava negatiivinen ennustearvo (NPV) on erinomainen

(95–99 %), mutta positiivinen ennustearvo (PPV) on vaihdellut selvästi enemmän (56–94 %). Jo kohtalainen sepelvaltimokalkkiutumien kerääntyminen pienentää sekä negatiivista ennustearvoa (99,2 % vs 93,5 %) (Ong ym. 2006) että positiivista ennustearvoa (80 % vs 73 %) (Mollet ym. 2005). Kaiken kaikkiaan tutkimusnäyttö menetelmän toimivuudesta on kuitenkin jo varsin vahva, ja TT-angiografiaa voidaan suositella sepelvaltimotaudin poissulkemiseen potilailla, joilla taudin ennakkotodennäköisyys on korkeintaan kohtalainen (Wijns ym. 2010).

Ohitusleikkauksissa käytettyjen suonisiirteiden arvioiminen

Ohitusleikkauksissa käytetyt laskimosiirteet ovat haluaisjaltaan sepelvaltimoita suurempia, ja niiden liike sydämen supistuessa on varsin vähäinen. Nämä seikat tekevät niistä otollisen kuvauskohteen TT-angiografialle. Sama pätee myös siirteenä käytettyyn sisempään rintavaltimoon. Tämän vuoksi siirteiden kuvantaminen onnistuu yleensä hyvin. Kiinnitysklipsien aiheuttamat artefaktit erityisesti distaalisessa anastomoosissa ovat tärkein siirteiden arviota vaikeuttava tekijä. Vaikka siirteet saadaankin hyvin näkymään TT-angiografiassa, useimmiten kliinisesti olennainen tieto liittyy iskemian toteamiseen. Natiivisuonten laajojen muutosten vuoksi TT-angiografialla on vaikea arvioida tilannetta kokonaisuutena ohitusleikatuilla potilailla.

Verkkoputkella hoidettujen sepelvaltimoiden arvioiminen

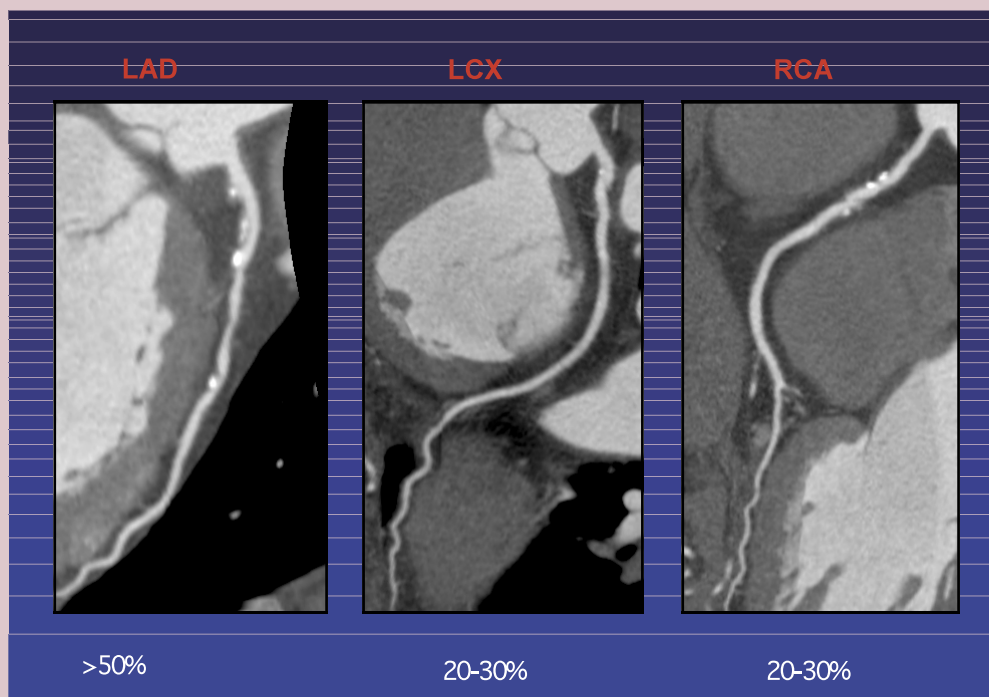
Metalliverkkoputkien eli stenttien käyttö toimenpidekardiologiassa on lisääntynyt merkittävästi. Näillä potilailla uusivat oireet voivat johtua joko uudesta leesiosta tai stentin tukkeutumisesta. Stenttien rakenteessa oleva metalli aiheuttaa TT-angiografiakuviin kirkastuman (blooming artifact), jonka vuoksi stentti vaikuttaa paksummalta ja suonien luumen pienemmältä. Stentin hal-



Kuva 1. Vasemman sepelvaltimon päärunnon merkittävä ahtauma TT-tutkimuksessa, transaxiaalinen leike.



Kuva 2. LITA-sepelvaltimosiirteestä verkkoputki, MPR-kuva. Verkkoputki on avoin.



Kuva 3. MPR-kuvat sepevaltimosta. Vasemman sepelvaltimon laskevan haaran merkittävä ahtauma, muut kaventumat eivät ole merkittäviä.

kaisija, rakenne sekä kuvaus- ja rekonstruktioparametrit vaikuttavat olennaisesti tuloksiin. Rixe ym. (2006) tutkivat 102 stentattua leesiota, ja yli 3 mm:n stenteistä oli arvioitavissa 58 %. Yli 3,5 mm:n stenteissä sensitiivisyys, spesifisyys sekä negatiivinen ja positiivinen ennustearvo olivat 100 %. Vuonna 2009 julkaistussa meta-analyysissä oli TT-angiografian sensitiivisyys stentinsäisen restenoosin suhteen 85 % ja spesifisyys 97 % (Sun ym 2009).

TT-angiografialla voidaan siis todeta halkaisijaltaan yli 3–3,5 mm:n stentin avoimuus varsin luotettavasti. Stentin mallilla on hyvin suuri merkitys, sillä jotkin stentit aiheuttavat vain vähän kuva-artefakteja, kun taas toiset estävät lumenin näkemisen kokonaan. Tulosten perusteella TT-angiografia vaikuttaa käyttökelpoiselta vasemman päärungon ja sepelvaltimoiden tyviosien stenttien sekä stentattujen laskimosiirteiden arviointiin, kunhan stentit ovat halkaisijaltaan riittävän suuria.

Akuutti rintakipu päivystyksessä

Rintakipu on päivystyslääketieteessä yleinen ongelma. Usein kliinikon ongelma pelkistyy kysymykseen, onko potilaan kipu sepelvaltimotautiperäistä vai voiko potilaan lähettää kotiin. Ajoittain on tarvetta sepelvaltimokohtauksen, keuhkoembolian ja aortan dissektoituman pois sulkemiseen (triple rule out). ROMICAT (Hoffmann ym. 2006) on edelleen potilasmäärältään suurin tähän mennessä sepelvaltimoiden TT:n arvoa

akuutissa rintakivussa selvittänyt tutkimus. Sen aineisto seulottiin 304 peräkkäisestä potilaasta, jotka olivat tulleet ensiapupoliklinikkaan rintakivun vuoksi ja jotka oli otettu sairaalaan lisäselvittelyihin. Muun muassa akuutin sepelvaltimotautikohtauksen varmistuminen, välitön kotiutus, kliinikon ohjelmoima TT keuhkoemboliaa tai aortan dissektoitumaa epäiltäessä, munuaisten heikentynyt toiminta tai rytmihäiriöt suljivat pois tutkimuksesta. Aineistossa otettiin lopulta 103 potilasta, joille tehtiin ennen sairaalaan ottoa sepelvaltimoiden TT 64-leikelaitteella. Sairaalassa 14 potilaalla (14 %) todettiin akuutti sepelvaltimokohtaus EKG:n ja troponiinimääritysten perusteella. Lopuilta 89 potilaalta (86 %) sepelvaltimoperäinen kipu suljettiin pois edellä mainittujen testien lisäksi toimintakokein (mm. sydänlihaskuvasuonien gammakuvaus). TT:ssä havaittu sepelvaltimoplakki osoitti sepelvaltimokohtauksen 100 %:n sensitiivisyydellä ja 46 %:n spesifisyydellä, positiivinen ennustearvo oli 23 % ja negatiivinen 100 %. Vastaavat arvot TT:ssä todetulle yli 50 %:n ahtaumalle olivat 100 %, 82 %, 47 % ja 100 %. Ellei potilailla todettu TT:ssä sepelvaltimoplakkeja tai ahtaumia, ei heillä myöskään siis ollut sepelvaltimotautikohtauksia. Positiivinen ennustearvo oli huonompi.

Muut käyttöalueet

Potilailla, joiden vasemman kammion toiminta on huonontunut ja joille harkitaan revaskularisaatiota, sydänlihaksen elinkykyisyyden arviointi on tärkeää. TT-an-



giografian yhteydessä voidaan sydänlihasarpi saada näkyviin ns. jälkitechostuman avulla kuten magneettitutkimuksessakin (Mahnken ym. 2005). Menetelmä vaikuttaa erityisesti uusimmilla laitteilla lupaavalta, mutta ei ole vielä yleistynyt kliinisessä käytössä.

Myös sydänlihaksen perfluusiota voidaan tutkia TT-tutkimuksella. Menetelmä on houkutteleva, jos sen avulla voidaan tulevaisuudessa samalla kerralla selvittää sekä sepelvaltimoiden anatomia että sepelvaltimoiden ahtaumien aiheuttama perfluusiopuutos sydänlihaksessa. Alustavat tulokset ovat tälläkin menetelmällä olleet lupaavia, mutta tutkimus ei toistaiseksi ole laajalti käytetty mm. uusimman laitekannan puutteesta johtuen. Aiheesta on kuitenkin tekeillä laaja monikeskustutkimus (George ym. 2011).

Tutkimuksen rajoitukset

Tyypillisiä itse kuvaukseen liittyviä virhelähteitä ovat potilaan kokoon ja huonoon yhteistyökykyyn liittyvät vaikeudet. Iso potilas tarvitsee enemmän säteitä, sillä ohuita leikepaksuuksia käytettäessä kuvien kohina kasvaa. Muita virhelähteitä ovat mm. suuren tai vaihtelevan syketaajuuden aiheuttamat sepelvaltimoiden liikeartefaktit (eteisvärinärytmi, runsaat lisälyönnit), hengityksen pidätyksen puutteellisuus ja sepelvaltimoiden runsaat kalkkiutumukset.

Kuvauksissa käytetään runsaasti jodia sisältävää (320–400 mg/l) varjoainetta, joka ruiskutetaan nopeasti (3–5 ml/s) laskimoon. Vaikka dialyysiin johtavan munuaistoksisuuden riski onkin vähäinen, alle 0,5 %, tulee potilaan munuaisten toimintakyky tarkastaa ennen tutkimusta esimerkiksi seerumin kreatiniinin määrittämisen avulla. Varjoaineen munuaistoksisuuden riski korostuu vanhuksilla, huonokuntoisilla ja erityisesti potilailla, joiden munuaisten toiminta on heikentynyt, mutta heilläkin se on alle 2 %. Riskiryhmissä munuaisten toimintaa voidaan arvioida tarkemmilla menetelmillä.

Tutkimuksen merkittävimpiin rajoituksiin on kuulunut potilaan kuvauksesta saama melko suuri sädeannos. Viimeaikainen tekninen kehitys on kuitenkin parantanut tilannetta: esim. ns. sekventiaalista kuvaustekniikkaa ja prospektiivista sydäntahdistusta käyttämällä potilaan saama sädeannos on yleensä alle 5 mSv.

Keiden sepelvaltimot tulisi tutkia TT-angiografialla?

Tieteelliset julkaisut eivät anna yksiselitteistä vastausta kysymykseen, keiden sepelvaltimot tulisi tutkia TT-an-

giografialla. On kuitenkin ilmeistä, että TT-angiografia ei yksinään pysty korvaamaan kajoavaa sepelvaltimoiden varjoainekuvausta.

Erinomaisen poissulkuarvonsa vuoksi sitä on ryhdytty käyttämään sepelvaltimotaudin pois sulkuun stabiilista rintakivusta kärsivillä potilailla, joilla ahtauttavan taudin todennäköisyys on pieni tai enintään kohtalainen. Pienen tai kohtalaisen riskin potilailla on yleensä myös vähemmän ahtaumien arviointia häiritsevää sepelvaltimokalkkiutumia. Runsaat sepelvaltimokalkkiutumia ennustavat mm. pitkäaikainen tupakointi, diabetes ja korkea ikä. Suurten stenttien arviointi onnistuu myös hyvin.

Runsaat lisälyönnit ja epätasainen rytmi, kuten eteisvärinä, ja munuaisten vajaatoiminta estävät yleensä tutkimuksen. Runsaat sepelvaltimokalkkiutumukset ovat edelleen ongelma sepelvaltimoahtauman arvioinnissa.

Viitteet

1. Bluemke DA, Achenbach S, Budoff M, Gerber TC, Gersh B, Hillis LD, Hundley WG, Manning WJ, Printz BF, Stuber M, Woodard PK. Noninvasive coronary artery imaging: magnetic resonance angiography and multidetector computed tomography angiography: a scientific statement from the American Heart Association committee on cardiovascular imaging and intervention of the council on cardiovascular radiology and intervention, and the councils on clinical cardiology and cardiovascular disease in the young. *Circulation* 2008;118:586–606.
2. Schroeder S, Achenbach S, Bengel F, Burgstahler C, Cademartiri F, de Feyter P, George R, Kaufmann P, Kopp AF, Knuuti J, Ropers D, Schuijff J, Tops LF, Bax JJ; Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT; European Society of Cardiology; European Council of Nuclear Cardiology. Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training requirements: report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology. *Eur Heart J* 2008;29:531–56.
3. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M Jr, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990;15:827–32.

4. Fischbach R, Juergens KU, Ozgun M, ym. Assessment of regional left ventricular function with multidetector-row computed tomography versus magnetic resonance imaging. *Eur Radiol* 2007;1:1009–17.
5. Ong TK, Chin SP, Liew CK, ym. Accuracy of 64-row multidetector computed tomography in detecting coronary artery disease in 134 symptomatic patients: influence of calcification. *Am Heart J* 2006; 151:1323.e1–6.
6. Mollet NR, Cademartiri F, van Mieghem CA, ym. High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation* 2005;112:2318–23.
7. Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery(EACTS); European Association for Percutaneous Cardiovascular Interventions(EAPCI), Wijns W, Kolh P, Danchin N, Di Mario C, Falk V, Folliguet T, Garg S, Huber K, James S, Knuuti J, Lopez-Sendon J, Marco J, Menicanti L, Ostojic M, Piepoli MF, Pirlet C, Pomar JL, Reifart N, Ribichini FL, Schalij MJ, Sergeant P, Serruys PW, Silber S, Sousa Uva M, Taggart D. Guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J*. 2010;31:2501–55.
8. Rixe J, Achenbach S, Ropers D, ym. Assessment of coronary artery stent restenosis by 64-slice multi-detector computed tomography. *Eur Heart J* 2006;27:2567–72.
9. Sun Z, Davidson R, Lin CH. Multi-detector row CT angiography in the assessment of coronary in-stent restenosis: a systematic review. *Eur J Radiol*. 2009;69:489–95.
10. Hoffmann U, Nagurney JT, Moselewski F, ym. Coronary multidetector computed tomography in the assessment of patients with acute chest pain. *Circulation* 2006;114:2251–60.
11. Sato Y, Inoue F, Matsumoto N, ym. Detection of anomalous origins of the coronary artery by means of multislice computed tomography. *Circ J* 2005;69:320–4.
12. Feuchtner GM, Dichtl W, Friedrich GJ, ym. Multislice computed tomography for detection of patients with aortic valve stenosis and quantification of severity. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:1410–7.
13. Mahnken AH, Koos R, Katoh M, ym. Assessment of myocardial viability in reperfused acute myocardial infarction using 16-slice computed tomography in comparison to magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2005;45:2042–7.
14. George RT, Arbab-Zadeh A, Cerci RJ, Vavere AL, Kitagawa K, Dewey M, Rochitte CE, Arai AE, Paul N, Rybicki FJ, Lardo AC, Clouse ME, Lima JA. Diagnostic Performance of Combined Noninvasive Coronary Angiography and Myocardial Perfusion Imaging Using 320-MDCT: The CT Angiography and Perfusion Methods of the CORE320 Multicenter Multinational Diagnostic Study. *AJR Am J Roentgenol*. 2011;197:829–37. ■

Sami Kajander
Valtakunnallinen PET-keskus
TYKS

Heikki Ukkonen
Kardiologian klinikka
TYKS

Juhani Knuuti
Valtakunnallinen PET-keskus
TYKS