

Perfuusio- ja hybridikuvantaminen

ANTTI SARASTE

JUHANI KNUUTI

Tiivistelmä

Sydänlihaksen perfuusiokuvauksen avulla on mahdollista todeta ahtauttava sepelvaltimotauti ja arvioida pallolaajennushoidon tai ohitusleikkauksen tarvetta. Hybridikuvantaminen tarkoittaa kahdella eri kuvausmenetelmällä tuotettujen kuvien yhdistämisestä siten, että molempien kuvien informaatiota käytetään tutkimuksen tulkinnessa. Tämä on mahdollista uusien yhdistelmäkameroiden ja analyysiohjelmistojen ansiosta. Sydämen kuvauksessa käytetyin hybriditutkimus on sydänlihasperfuusion isotooppikuvauksen ja sepelvaltimoiden kajoamattoman tietokoneröntgenangiografian (TT-angiografia) yhdistelmä. Hybridikuvauksella on mahdollista todeta sekä sepelvaltimoahtaus angiografiakuvassa että arvioida sen hemodynaamista merkittävyyttä perfuusiokuvassa. Verrattuna pelkkään TT-angiografiaan tai perfuusiokuvaukseen hybridikuvauksella saavutetaan parempi osuvuus ahtauttavan sepelvaltimotaudin toteamisessa. Toistaiseksi sydämen hybridikuvaus on mahdollista vain harvoissa keskuksissa ja tarvitaan lisää tutkimustietoa hybridikuvauksen kustannustehokkuudesta eri potilasryhmissä.

Johdanto

Sepelvaltimoahtauksen hemodynaamisen merkittävyyden tutkiminen on tärkeää pallolaajennus- ja ohitusleikkauksien tarvetta arvioitaessa. Lääkehoitoon verrattuna pallolaajennuksesta ja ohitusleikkauksesta hyötyvät potilaat, joilla ahtaus on hemodynaamisesti merkittävä. Pelkän anatomisen kuvan perusteella on vaikea arvioida onko sepelvaltimoahtaus hemodynaamisesti merkittävä, jollei ahtaus ole hyvin tiukka (>90 %). Useissa tutkimuksissa on osoitettu, että sekä kajoamattomassa että kajoavassa angiografiassa keskivaikeista ahtaumista (ahtauksen aste 40–90 %) vain osa aiheuttaa merkittävän painegradientin tai sydänlihaskemian. Tämän vuoksi sepelvaltimoahtauksen anatomian lisäksi suositellaan sen toiminnallisen merkityksen tutkimista ennen revaskularisaatiota. Stabiilioireisessa sepelvaltimotaudissa tämä voidaan tehdä kajoamattomien tutkimusmenetelmien avulla. (Fox 2006, Wijns 2010)

Sydänlihasperfuusion kuvaus on hyvä ja pitkään käytetty, kajoamaton ahtauttavan sepelvaltimotaudin toteamismenetelmä. Uusilla yhdistelmäkameroilla ja analyysiohjelmistoilla on mahdollista yhdistää sepelvaltimoiden monileiketietokoneröntgentomografia (TT) ja sydänlihasperfuusion isotooppitutkimus hybridikuviksi. Näin saadaan tietoa sekä sepelvaltimoiden anatomiasta että mahdollisten ahtaumien aiheuttamasta iskemiasta. Tässä artikkelissa kuvataan sydänlihasperfuusiotutkimuksen ja hybridikuvantamisen käyttöä sepelvaltimotaudin diagnostiikassa.

Perfuusiokuvantaminen

Sydänlihasperfuusion isotooppikuvantaminen gammakameralla ja merkkiaineella, joka jakaantuu sydän-

lihakseen alueellisen perfuusion mukaisesti, on yleisin sydämen isotooppitutkimus. Tekemällä tutkimus levossa ja joko lääkeaineella tai kuormituskokeella aiheutetun rasituksen aikana on mahdollista merkkiaineen jakauman perusteella todeta mahdollisten iskemia- ja vaurioalueiden koko ja sijainti. Sydänperfuusion gammakuvaus on tarkempi menetelmä ahtauttavan sepelvaltimotaudin toteamisessa kuin rasisus-EKG ilman kuvantamista. Hyvin tehdyn perfuusion gammakuvaus sensitiivisyys angiografisesti merkittävän sepelvaltimoahtauman toteamisessa on 80–90 %. Myös spesifisyys on samaa tasoa kun otetaan huomioon tutkittavasta menetelmästä johtuva vääristymä jatkoselvittelyyn lähettämisessä (referral bias). Jos perfuusiokuvantamisen tulos on normaali niin sydänperäisen kuoleman tai sydäninfarktin vaara on pieni (<1 % vuodessa). Toisaalta näiden vaara lisääntyy suhteessa todetun perfuusiöhäiriön laajuuteen. Todennäköisyys sille, että pallolaajennus tai ohitusleikkaus parantaa potilaan ennustetta lääkehoitoon verrattuna on myös suurin potilailla, joilla todetaan laaja iskeeminen alue perfuusiokuvauksessa. Tämän ansiosta perfuusiokuvantaminen on hyödyllinen tutkimus arvioitaessa kajoavien selvittelyjen ja revaskularisaation tarvetta potilailla, joilla on jo todettu sepelvaltimotauti tai sepelvaltimotaudin ennakkotodennäköisyys on kohtalaisen suuri. Tällöin perfuusiokuvantamisen käyttö on osoitettu kustannustehokkaaksi, koska kajoavat tutkimukset ja hoitotoimenpiteet voidaan kohdistaa niistä suurella todennäköisyydellä hyötyviin potilaisiin. (Fox 2006, Klocke 2003, Shaw 2008, Wijns 2010, Underwood 2004)

Sydänlihasperfuusion positroniemissiotomografian (PET) etuja gammakuvaukseen verrattuna on erinomainen kuvan laatu ja automaattinen säteilyn vaimenemisen (attenuaatio) korjaaminen, minkä lisäksi PET on toistaiseksi ainoa menetelmä, jolla sydänlihasperfuusio on mahdollista mitata kvantitatiivisesti. Kvantitaation ansiosta on mahdollista tutkia perfuusio tarkasti kunkin sepelvaltimon alueella, mikä tarkoittaa iskemian laajuuden arviointi potilailla, joilla on monen sepelvaltimon tauti. Lisäksi on mahdollista todeta kolmen suonen taudin aiheuttama koko vasemman kammi- on laajuinen sydänlihaskeskemia. Sydänlihasperfuusion gammakuvaamiseen verrattuna PET-kuvantamista käytetään nykyisin vain harvoin sydänlihasperfuusion tutkimisessa. Syynä tähän on pääasiassa sydänlihasperfuusion PET-merkkiaineiden korkeampi hinta ja huono saatavuus. Tilanne saattaa kuitenkin parantua lähiaikoina jos uusia fluoridi-18 isotoopilla leimattuja merkkiaineita tulee kliiniseen käyttöön. Kokeelliset tutkimukset ja alustavat kliiniset tutkimustulokset ovat olleet lupaavia, mutta tarkempaa tietoa on luvassa kun

meneillään olevan faasi-3 kliinisen tutkimuksen tulokset valmistuvat. Fluoridi-18 -leiman pitkän puoliintumisaajan ansiosta merkkiainetta voisi toimittaa pitkänkin matkan päähän ja näin ollen sitä olisi mahdollista käyttää myös paikoissa, joissa ei ole isotooppien valmistuksessa tarvittavaa syklotronia. (Knuuti 2009, Nekolla 2010)

Sydänlihasperfuusiokuvauksen kliininen käyttö

Sydänlihasperfuusion isotooppikuvantamisen käyttöaiheena on sepelvaltimotaudin toteaminen potilailla, joilla iskemian luotettava tulkinta ei ole mahdollista kuormituskokeessa EKG:n perusteella esim. vasemman haarakatkoksen tai levossa esiintyvien ST-muutosten vuoksi. Iskemian toteaminen on mahdollista lääkkeellisen rasituksen aikana tehtävän perfuusiokuvauksen avulla myös silloin kun kuormituskokeessa ei saavuteta riittävää sykenousua. Perfuusiokuvaus voi tuoda myös lisätietoa, mikäli sepelvaltimotaudin diagnoosi on epävarma kliinisten tietojen ja rasisuskokeen jälkeen. Perfuusiokuvaus mahdollistaa iskemian paikantamisen, mikä on erityisen hyödyllistä aiemmin pallolaajennuksella tai ohitusleikkauksella hoidetuilla sepelvaltimotautipotilailla. Sydänlihasperfuusion PET-kuvauksen käyttöaiheet ovat periaatteessa samat kuin gammakuvaamisella, mutta tutkimusnäyttö PET-kuvauksesta on toistaiseksi paljon pienempi. (Fox 2006, Wijns 2010)

Perfuusiokuvauksen ja TT-angiografian ongelmat

Sydänlihasperfuusion gammakuvaus tulkinta voi olla ongelmallista joissain tilanteissa. Säteilyn epätaainen vaimeneminen kehossa (attenuaatio) erityisesti ylipainoisilla potilailla voi aiheuttaa virheellisen vaikutelman perfuusiolenemästä isotooppikuvissa. Sepelvaltimotaudin riskitekijöiden aiheuttama endoteelin toimintahäiriö voi aiheuttaa perfuusiöhäiriön, vaikka epikardiaalisissa suurissa sepelvaltimoissa ei olisi ahtaumia. Molemmissa tilanteissa sydänlihasperfuusion kuvauksen tulos voi johtaa tarpeettomasti kajoaviin sydäntutkimuksiin. Toisin kuin kvantitatiivinen PET-kuvaus, perfuusion gammakuvaus perustuu suhteellisten erojen toteamiseen sydänlihaksen alueiden välillä ja monen sepelvaltimon taudissa iskemia-alue voi näyttää todellista pienemmältä jos vain pahiten iskeeminen alue tulkitaan epänormaaliksi. Vaikea kolmen suonen tauti, joka aiheuttaa tasaisesti koko sydänlihaksessa alentuneen perfuusion on todennäköisesti harvinainen tilanne, mutta voi aiheuttaa lähes normaalilta näyttävän suhteellisen perfuusiojakauman isotooppikuvissa ja näin ollen johtaa potilaan taudin laajuuden ja riskin

aliarvioimiseen. Lisäksi normaalista perfluusiokuvauksen tuloksesta huolimatta potilaalla saattaa olla alkavia sepelvaltimotautimuutoksia ja niiden seurauksena suurentunut sepelvaltimotaudin ja sydäntapahtuman riski. Kaikissa näissä tilanteissa voidaan saada tarpeellista tietoa taudin luonteesta yhdistämällä sepelvaltimoiden kajoamaton angiografia perfluusiokuvaukseen.

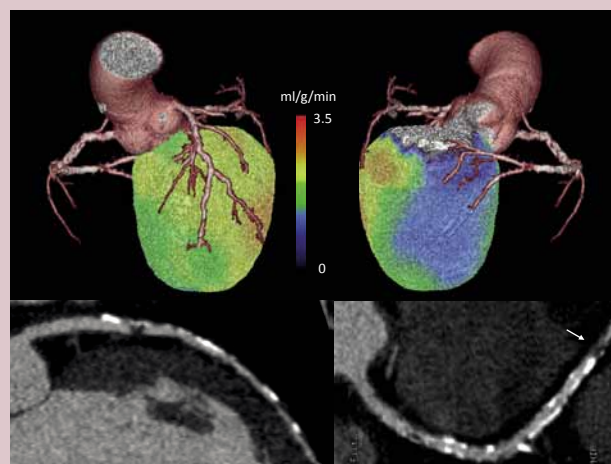
Sepelvaltimoiden monileike-TT-angiografia on hyvä menetelmä sepelvaltimotaudin poissulkemiseksi potilailla, joilla taudin ennakkotodennäköisyys on korkeintaan kohtalainen, kuten toisaalla tässä lehdessä kerrotaan tarkemmin. Sepelvaltimoiden TT-angiografian ongelmana on, että todettujen tautimuutosten hemodynaamisen merkityksen arvioiminen on hankalaa erityisesti silloin kun ahtauma on raja-arvoinen, kuvan laatu ei ole paras mahdollinen, suoneissa on kalkkia tai suoni on pienikokoinen. Tällöin perfluusiokuvaus voi auttaa selvittämään mitkä sepelvaltimoiden TT-angiografiassa todetuista tautimuutoksista aiheuttavat sydänlihasiskemiaa. (Wijns 2010, Shroeder 2008)

Hybridikuvantaminen

Hybridikuvantaminen tarkoittaa kahdella eri kuvantamismenetelmällä tuotettujen kuvien yhdistämistä siten, että molempien kuvien informaatiota käytetään kuvan tulkinnassa. Hybridikuvantaminen on mahdollista sekä yhdistelmä- eli hybridikameralla, joissa kaksi erilaista kameraa on kiinteästi yhdistetty että analyysiohjelmistoilla, jotka mahdollistavat erillisillä kameroilla tehtyjen kuvien yhdistämisen. Sepelvaltimotaudin tutkimisessa on toistaiseksi käytetty lähinnä monileike-TT-kuvauksen ja gamma- tai PET-kuvauksen yhdistelmää, joka mahdollistaa kajoamattoman angiografian ja perfluusion hybridikuvauksen. Sepelvaltimoiden anatomiaassa on huomattava yksilöllinen vaihtelu, minkä vuoksi perfluusiotutkimusten tulkinnan pohjana käytettävä sepelvaltimoiden suonittaminen sydänlihasalueiden standardikartta ei aina vastaa todellista suonijakaumaa. Hybridikuvantamisen etuna erillisiin tutkimuksiin verrattuna on, että sydänlihaksen perfluusiohäiriöt on mahdollista yhdistää tarkasti yksilölliseen sepelvaltimoiden anatomiaan jopa yhdellä tutkimuskerralla (kuva). (Flotats 2011, Gaemperli 2011)

Toistaiseksi hybridikuvantamista on tutkittu sepelvaltimotaudin diagnostiikassa verrattain pienissä yhden keskuksen tutkimuksissa käyttäen sydänlihasperfluusion gammakuvausta tai PET-kuvausta yhdistettynä sepelvaltimoiden TT-angiografiaan (Gaemperli 2011). Toistaiseksi suurimmassa tutkimuksessa verrattiin pel-

kää sepelvaltimoiden TT-angiografiaa tai PET-perfluusiokuvausta radiovedellä adenosiinirasituksen aikana hybridikameralla yhdistettyihin kuviin 107 potilaalla, joilla oli kohtalainen sepelvaltimotaudin ennakkotodennäköisyys esitietojen ja rasiuskoe-työdyksen perusteella (Kajander 2010). Kuvauslöydöksiä verrattiin kajoavaan kvantitatiiviseen angiografiaan, minkä lisäksi raja-arvoisten ahtaumien hemodynaaminen merkittävyys tutkittiin FFR-mittauksella. Tulokset osoittivat, että molemmilla kuvausmenetelmillä oli yksinäänkin hyvä negatiivinen ennustearvo, mutta hybridikuvantamisella saavutettiin parempi positiivinen ennustearvo (96 %) verrattuna joko TT-angiografiaan (76 %) tai perfluusiokuvaukseen (76 %). Hybridikuvantami-



Kuva. Sepelvaltimoiden kajoamattoman TT-angiografian ja sydänlihasperfluusion hybridikuvauksen sepelvaltimotautidissa. Potilas on 58-vuotias nainen, jolla useita sepelvaltimotaudin riskitekijöitä (hyperkolesterolemia, verenpainetauti ja aiempi tupakointi), epätyypillinen rintakipu ja ST-lasku rasiuskokeessa. Monileikerekonstruktio kuvissa vasemman eteen laskevan haaran (vasen alakuva) ja oikean sepelvaltimon (oikea alakuva) angiografiasta nähdään runsaasti kalkkisia, mahdollisesti ahtauttavia sepelvaltimotautimuutoksia. Sydänlihasperfluusio tutkittiin PET-kuvauksella käyttäen merkkiaineena radiovettä adenosiinirasituksen aikana. TT-angiografian ja sydänlihasperfluusion hybridikuvissa nähdään normaali perfluusio (>2.5 ml/g/min, keltainen väri) tai lievästi alentunut perfluusio (2.0–2.5 ml/g/min, vihreä väri) LAD suonen alueella (vasen yläkuva). Rasiusperfluusio on voimakkaasti alentunut (< 1.5 ml/g/min, sininen väri) oikean sepelvaltimon alueella. Kajoavassa angiografiassa löytyi tiukka ahtauma oikean sepelvaltimon loppuosassa (nuoli vastaavassa TT-kuvassa), mikä hoidettiin pallolaajennuksella. Oikean sepelvaltimon alkuosassa ja vasemmassa sepelvaltimossa todettiin vain lieviä tai raja-arvoisia ahtaumia. Toimenpiteen jälkeen potilas on ollut oireeton.



sen osuvuus merkittävien sepelvaltimoahtaumien toteamisessa oli erinomainen. Muissa tutkimuksissa on osoitettu, että nimenomaan hybridikuvien tekeminen vähentävät epävarmojen löydösten määrää verrattuna siihen, että TT-angiografiakuvat ja perfuusiokuvat analysoidaan erikseen (Gaemperli 2007). Kliinisesti hyödyllistä lisäinformaatiota saavutettiin noin 1/3:lla potilaista ja erityisesti monisuonitaudissa (Gaemperli 2007). Diagnostiikan lisäksi hybridikuvantaminen voi tarkentaa potilaiden ennusteen arviointia, koska myös endoteelin toimintahäiriö ja alkavat, suonta ahtauttamattomat sepelvaltimotautimuutokset vaikuttavat ennusteeseen ja tulevat havaituksi (VanVerkhofen 2010). Tutkimuksen tekninen suorittaminen ja yhdistelmäkuvioiden tekeminen on hybridikameralla vaivatonta.

Hybridikuvantamisen haittoja yksittäisiin tutkimuksiin verrattuna ovat suurempi säderasitus ja mahdolliset lisäkustannukset. Kun käytetään 99mTc-technetiumilla leimattua merkkiainetta, sydänperfuusion gammakuvausten aiheuttama säderasitus on 10 mSv luokkaa, mikä on jonkin verran enemmän kuin diagnostisessa invasiivisessa angiografiassa (keskimäärin 7 mSv). Tähän verrattuna PET-perfuusiokuvausten etuna on, että nopeasti hajoavat isotoopit aiheuttavat vähemmän (<3 mSv) säderasitusta. Nopean kuvantamistekniikan kehityksen myötä sepelvaltimoiden TT-angiografian aiheuttama säderasitus on pienentynyt (useimmiten <5 mSv) siten, että hybridikuvantamisenkin aiheuttama säderasitus on kohtuullinen. (Einstein 2007, Gaemperli 2011)

Kliininen käyttö

Vaikka sekä perfuusiokuvausten että sepelvaltimoiden TT-angiografiasta on vahva näyttö sepelvaltimotaudin toteamisessa, hybridikuvantaminen on mahdollista vain harvoissa keskuksissa ja sen hyödyistä tarvitaan lisää tutkimusnäyttöä laajoissa potilasaineistoissa. Erityisesti tarvitaan tietoa siitä, missä potilasryhmässä hybridikuvantamisen käyttö olisi kustannustehokasta. Mikäli pian valmistuvien monikeskustutkimusten (EVINCI, SPARC, PROMISE) tulokset vahvistavat tähän mennessä saavutettuja lupaavia tuloksia ja tutkimukseen soveltuvien kameroiden määrä lisääntyy, tulee hybridikuvantamisen käyttö sepelvaltimotaudin tutkimisessa todennäköisesti yleistymään. (Wijns 2010)

Tulevaisuuden näkymiä

Viimevuosien aikana hybridikuvantaminen on kehittynyt nopeasti kliinisessä sepelvaltimotaudin diag-

nostiikassa. Sydämen TT-kuvaukseen ja isotooppi-kuvaukseen verrattuna magneettikuvauksen käyttö hybridikuvauksessa on teknisesti vaikeampaa. Magneettikuvaus on kuitenkin houkutteleva vaihtoehto hybridikuvaukseen, koska se ei aiheuta säteilyaltistusta ja perfuusion lisäksi se tarjoaa mahdollisuuksia sydänlihaksen rakenteen, esimerkiksi infarktin arven ja tulehdussellisten muutosten tutkimiseen. (Nekola 2009)

Sydämen molekyylikuvantamisen avulla saadaan tietoa solutasen tautimekanismeista toisin kuin perinteisillä sydämen rakennetta ja toimintaa mittaavilla kuvantamismenetelmillä. Molekyylikuvantaminen on kehittynyt viime vuosina nopeasti ja tarjolla on useita uusia merkkiaineita sydänsairauksien varhaisen mekanismien tutkimiseen. Tärkeimmät molekyylikuvantamisen kliiniset tutkimuskohteet sydänsairauksissa ovat repeämisalttiiden ateroskleroottisten plakkien varhainen toteaminen, etenevän sydämen vajaatoiminnan ja sydänlihaskuvaurion mekanismien tunnistaminen ja henkeä uhkaavien rytmihäiriöiden vaaran arvioiminen. Diagnostiikan lisäksi molekyylikuvantamista voisi käyttää uusien lääketehtäviensä kehitystyössä. PET on kehittynein molekyylikuvantamistekniikka, koska sen avulla on mahdollista todeta erittäin pieniä merkkiainepitoisuuksia, jotka ovat turvallisia myös kliinisessä potilastutkimuksessa. Hybridikuvantaminen on välttämätöntä molekyyli-merkkiaineiden käytölle, koska sen avulla on mahdollista yhdistää TT-kuvassa saatava tarkka kuva sydämen rakenteesta PET-kuvassa näkyvään molekyyli-merkkiaineeseen. (Saraste 2009)

Lopuksi

Sydänlihaksen perfuusiokuvaus on hyvä apuväline ahtauttavan sepelvaltimotaudin toteamisessa ja pallolääkinnän tai ohitusleikkauksen tarpeen arvioinnissa sepelvaltimotautipotilailla ja potilailla, joilla taudin ennakkotodennäköisyys on keskisuuri. Sepelvaltimoiden anatomian ja mahdollisten ahtaumien hemodynaamisen merkityksen tutkiminen kajoamattoman TT-angiografian ja sydänlihaskuvauksen hybridikuvauksella on uusi, lupaava menetelmä sepelvaltimotaudin diagnostiikassa.

Viitteet

Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, et al. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation* 2007;116:1290–305.

Flotats A, Knuuti J, Gutberlet M et al. Hybrid cardiac imaging: SPECT/CT and PET/CT. A joint position statement by the European Association of Nuclear Medicine (EANM), the European Society of Cardiac Radiology (ESCR) and the European Council of Nuclear Cardiology (ECNC) *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2011;38:201–212.

Fox K et al. Guidelines on the Management of Stable Angina Pectoris *European Heart Journal* 2006;27:1341–1381

Gaemperli O, Saraste A, Knuuti J. Cardiac hybrid imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Im* 2011 (epub ahead of print)

Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, et al. Cardiac image fusion from stand-alone SPECT and CT: clinical experience. *J Nucl Med* 2007;48:696–703.

Hachamovitch R, Berman DS, Shaw LJ et al. Incremental prognostic value of myocardial perfusion single photon emission computed tomography for the prediction of cardiac death: differential stratification for risk of cardiac death and myocardial infarction. *Circulation* 1998;97:535–543.

Kajander S, Joutsiniemi E, Saraste M, et al. Cardiac positron emission tomography /computed tomography imaging accurately detects anatomically and functionally significant coronary artery disease. *Circulation* 2010;122:603–13.

Klocke FJ, Baird MG, Lorell BH et al. ACC/AHA/ASNC guidelines for the clinical use of cardiac radionuclide imaging—executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (ACC/AHA/ASNC Committee to Revise the 1995 Guidelines for the Clinical Use of Cardiac Radionuclide Imaging). *J Am Coll Cardiol* 2003;42:1318–1333.

Knuuti J, Kajander S, Maki M, Ukkonen H. Quantification of myocardial blood flow will reform the detection of CAD. *J Nucl Cardiol* 2009;16:497–506.

Nekolla SG, Saraste A. Novel F-18-labeled PET myocardial perfusion tracers: bench to bedside. *Curr Cardiol Rep* 2011;13:145–50.

Nekolla SG, Martinez-Moeller A, Saraste A. PET and MRI in cardiac imaging: from validation studies to integrated applications. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2009;36:S121–30.

Saraste A, Nekolla SG, Schwaiger M. Cardiovascular molecular imaging: an overview. *Cardiovasc Res* 2009;50:1088–1094.

Shaw LJ, Berman DS, Maron DJ, et al. Optimal medical therapy with or without percutaneous coronary intervention to reduce ischemic burden: results from the Clinical Outcomes Utilizing Revascularization and Aggressive Drug Evaluation (COURAGE) trial nuclear substudy. *Circulation* 2008;117:1283–91.

Underwood SR, Anagnostopoulos C, Cerqueira M et al. Myocardial perfusion scintigraphy: the evidence. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2004;31:261–91.

van Werkhoven JM, Schuijf JD, Gaemperli O, et al. Prognostic value of multislice computed tomography and gated single-photon emission computed tomography in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2009;53:623–32.

Wijns W, Kolh P, Danchin N, et al. Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 2010;31:2501–55. ■

Antti Saraste
Dos., kardiologian erikoislääkäri
TYKS
Sisätautien klinikka
ja
Valtakunnallinen PET-keskus

Juhani Knuuti
Prof., kliinisen fysiologian ja
isotooppilääketieteen erikoislääkäri
Valtakunnallinen PET-keskus