

Antti Loimaala ja Antti Saraste

Sydämen rasisuskaikukuvaus

Sydämen rasisuskaikukuvaus on pitkään käytössä ollut, monipuolinen sydänsairauksien tutkimusmenetelmä. Rintakipupotilaan hemodynaamisesti merkittävä, ahtauttava sepelvaltimotauti on mahdollista todeta seinämäliikehäiriönä, joka kehittyy rasisuksen aiheuttaman sydänlihasiskemian seurauksena. Kaikukuvausten avulla on mahdollista arvioida sydänlihasiskemian sijaintia ja laajuutta sekä sen yhteyttä potilaan kuormitukseen ja oireisiin. Rasisuskaikukuvaus mahdollistaa sydämen rakenteen ja toiminnan monipuolisen tutkimisen, kuten vasemman kammion systolisen ja diastolisen toimintahäiriön toteamisen. Tutkimuksen käyttöaiheet ovat laajentuneet, ja sitä käytetään aiempaa enemmän muun muassa läppävikojen vaikeuden, sydänlihassairauksien ja epäselvän hengenahdistuksen selvittelyssä.

Sydämen rasisuskaikukuvaus on ollut yli kolmekymmentä vuotta maailmalla laajasti käytetty kliininen sepelvaltimotaudin tutkimusmenetelmä (1). Ahtauttava sepelvaltimotauti voidaan todeta kammioseinämän supistumishäiriönä rasisuksen aiheuttaman sydänlihasiskemian seurauksena. Rasisuskaikukuvausten osuvuus sepelvaltimotaudin diagnosiikassa on erinomainen ja vastaa sydämen perfuusiokuvauksen osuvuutta (1). Tuoreessa eurooppalaisessa hoitosuosituksessa kuvantamistutkimusten kuten sepelvaltimoiden tietokonetomografian, sydänlihaksen perfuusiokuvantamisen ja rasisuskaikukuvausten merkitys korostuu, kun epäillään ahtauttavaa sepelvaltimotautia (2).

Rasisuskaikukuvausten avulla on mahdollista arvioida sydänlihasiskemian sijaintia ja laajuutta sekä vasemman kammion toimintaa (3). Se mahdollistaa sydämen rakenteen ja toiminnan monipuolisen tutkimisen, ja sitä käytetään yhä enemmän muun muassa läppävikojen vaikeuden määrittämisessä, sydänlihassairauksien selvittelyssä, hengenahdistuksen syyn selvittämisessä ja leikkauskelpoisuuden arvioinnissa (TAULUKKO) (4,5). Esittelemme keskeisiä rasisuskaikukuvausten käyttöaiheita ja mahdollisuuksia sydänpotilaan ongelmatilanteissa.

Tutkimuksen suorittaminen

Rasisuskaikukuvausmenetelmiä on kuvattu yksityiskohtaisesti keskeisissä katsauksissa (1,3,4). Kaikukuvaus on potilaalle vaaraton ja rasisuskaikukuvaukselle on vähän vasta-aiheita, kun kliinisen rasisuskokeen ja lääkerasisuksen mahdolliset riskit huomioidaan. Lepotilanteeseen verrattuna rasisuksen aikana kuvantaminen on usein vaativaa muun muassa hengästyksen vuoksi, joten tarkka kysymyksenasettelu on tutkimuksen onnistumisen kannalta tärkeää.

Kuormituskokeet. Rasisuskaikukuvausessa fyysinen rasisus on useimmiten suositeltavampi kuin lääkerasisus. Joskus tuki- ja liikuntaelinsairaus estää kuormituksen polkupyörällä tai juoksumatolla, jolloin vaihtoehtona on farmakologinen rasisus.

Kliinisen rasisuskokeen suoritus ja vasta-aiheet on kuvattu kotimaisessa katsausartikkelissa (6). Kvantamislöydöksistä riippumatta

TAULUKKO. Rasisuskaikukuvausten käyttöaiheita.

Sepelvaltimotaudin diagnosointi
Aorttaläppäahtauman vaikeuden arvio
Hiippaläppävikojen arviointi
Leikkauskelpoisuuden arviointi
Hengenahdistuksen selvittely

rasituskoet tarjoaa hyödyllistä tietoa potilaan suorituskyvystä, syke- ja verenpainevasteesta, rytmihäiriöistä ja oireista rasituksessa. Huono fyysinen suorituskyky ennustaa suurentunutta oireisen sydänsairauden ja sydänsairaudesta johtuvan kuolleisuuden vaaraa (7,8).

Maksimaalisessa kuormituskokeessa sykkeen tulee suurentua 85 %:iin laskennallisesta iänmukaisesta maksimisykkeestä. Dynaamisessa rasituksessa syke suurenee normaalisti 2–3-kertaisesti, sydämen supistuvuus 3–4-kertaisesti, systolinen verenpaine yleensä ainakin 50 % lepotilaan verrattuna ja ääreisvastus heikkenee. Sepelvaltimovirtaus lisääntyy normaalisti 3–5-kertaisesti ja keuhkovaltimopaine jonkin verran kuormitusrasituksen mukaan.

Käytettäessä tavallista polkupyöräergometria tai juoksumattorasitusta kaikukuvantaminen tehdään ennen rasitusta ja mahdollisimman nopeasti rasituksen jälkeen tutkimuspöydällä. Makuupolkupyörä mahdollistaa kuvaamisen myös rasituksen aikana ja helpottaa monipuolista tutkimista. Potilaan kallistaminen vasemmalle kyljelleen polkemisen aikana ja lopetuksen jälkeen parantaa näkymää kärki-ikkunasta ja helpottaa virtausmittauksia. Pysty- ja makuupolkupyörällä poljettaessa hemodynaamiset muutokset eivät ole aivan yhtenevät, mutta diagnostinen osuvuus on kummankin osalta hyvä ja yhtäläinen (2).

Sydämen kaikukuvaus rasituskokeen yhteydessä mahdollistaa rasituksessa ilmenevien oireiden sydänperäisten syiden tutkimisen (4). Sydänlihaskemia, rasituksen aikaansaama läppävian paheneminen tai rasituksessa ilmaantuva ulosvirtauskanavan ahtauma voidaan todeta kuvantamalla. Lisäksi voidaan tutkia sydämen supistumisreserviä, diastolista toimintaa ja keuhkovaltimopainetta.

Lääkerasitus. Rasituskaikukuvaus voidaan tehdä myös lääkerasituksena, mikäli dynaaminen rasitus ei ole mahdollinen. Lääkerasitus ei kuitenkaan mahdollista suorituskyvyn arviointia, anna tietoa potilaan rasitusoireista eikä toista mitakaan monimutkaisia hemodynaamisia ja neurohormonaalisia muutoksia, joita kliininen rasituskoet aiheuttaa. Muun muassa keuhkojen ja keuhkoverenkierron, oikean kammion, sepelvaltimovirtauksen tai ääreisverenkierron

muutokset eivät vastaa dynaamisen rasituksen vasteita.

Dobutamiini on inotrooppi joka vaikuttaa ensisijaisesti sydänlihaksen beeta₁-reseptoriin. Dobutamiinirasitus on suositeltavin lääkerasitus, joka mahdollistaa muun muassa sydänlihaksen supistusreservin, sydänlihaksen elinkelpoisuuden, aorttaläpän ahtauman vaikeuden ja iskemian tutkimisen (**KUVA 1**).

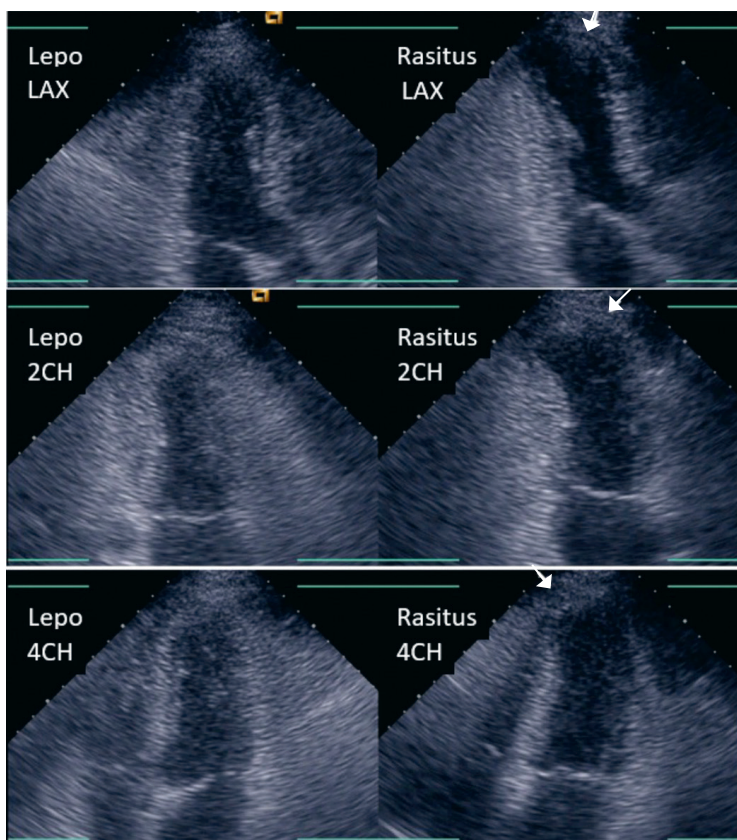
Vakioprotokollassa potilaalle annetaan laskimoon dobutamiinia kolmen minuutin portain 5–40 µg/kg/min (3). Pienten annosten (5–10 µg/kg/min) avulla sydänlihaksen supistuminen voimistuu ja suuremmilla annoksilla (20–40 µg/kg/min) syke tihenee voimakkaasti. Yhteisvaikutuksena sydämen supistuvuus suurenee jopa nelinkertaiseksi, syke 2–3-kertaiseksi ja systolinen verenpaine 1,5–2-kertaiseksi, mikä lisää sydänlihaksen hapenkulutusta merkitsevästi.

Dobutamiinin sykettä tihentävää vaikutusta tehostetaan tarvittaessa atropiinilla (1,0 mg:aan asti). Anti-iskeemisten lääkkeiden tauotuksen aikana päästään näin lähes aina 85 %:iin tavoitesykkeestä. Toisin kuin polkupyörärasituksessa, sydämen kuvantaminen on mahdollista rasituksen kaikissa vaiheissa. Viable eli elinkykyisyysarvioon riittää pienikin dobutamiiniansos (5–20 µg/kg/min). Dobutamiinirasituksen harvinainen haittavaikutus on kammiorhythmia, minkä vuoksi potilaan rytmiä seurataan ja varaudutaan hoitamaan. Beetasalpaaja kumoo dobutamiinin vaikutuksen nopeasti.

Dobutamiinin vaihtoehto kuvantamistutkimuksissa on laskimonsisäinen vasodilataattori (dipyridamoli, adenosini). Vasodilataattorasitusta käytetään erityisesti silloin, kun halutaan mitata sydänlihaksen verenvirtausta kaikukuvausvarjoaineinfuusion aikana tai virtausreservi vasemmasta eteen laskevasta sepelvaltimosta (**KUVA 2**). Pienentyneellä virtausreservillä on itsenäinen ennustearvo, vaikka iskemiaa ei todettaisikaan (4).

Tutkimusaiheet

Sepelvaltimotauti. Rasituskaikukuvaus soveltuu rintakipupotilaiden sepelvaltimotaudin



KUVA 1. Rasituskaikukuvaus sepelvaltimotaudin toteamisessa. Kärki-ikkunasta otetuissa kuvissa näkyy vasen kammio pitkän akselin kuvassa (ylärivi), kaksilokerokuvassa (keskimmäinen rivi) ja nelilokerokuvassa (alimmainen rivi) systolen loppuvaiheessa sekä levossa (vasemmanpuoleiset kuvat) että dobutamiinirasituksen aikana (oikeanpuoleiset kuvat). Potilaalla oli ahtauma vasemmassa eteen laskevassa sepelvaltimohaarassa, jonka aiheuttama iskeeminen kärjen supistumishäiriö näkyy rasituksen jälkeen otetuissa kuvissa (nuolet).

diagnosointiin, kun sepelvaltimotaudin ennakkotodennäköisyys on keski-suuri (2,9). Rasituskaikukuvaus herkyys oli 88 % ja tarkkuus 83 %, kun vertailukohtana käytettiin katetriangiografiassa todettua merkittävää ahtaumaa (1,10). Polkupyörä- ja lääkerasituksen diagnostisessa osuvuudessa ei ole merkitsevää eroa (3).

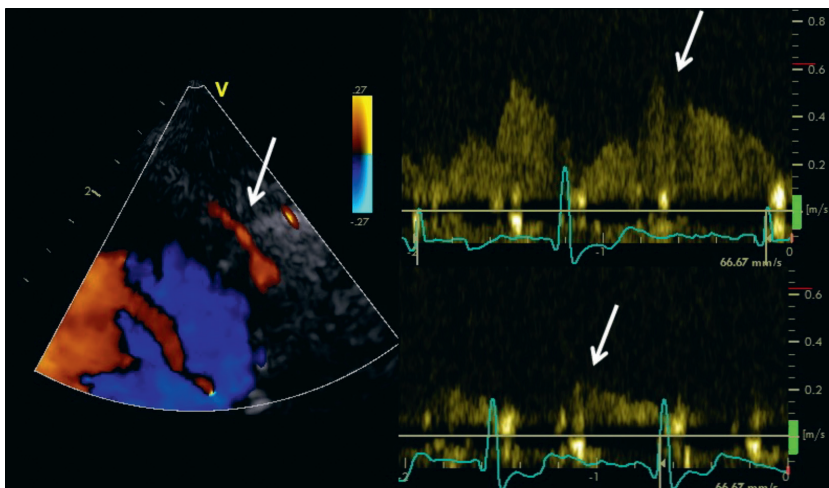
Rasituskaikukuvaus jälkeen epävarmojen löydösten määrä on pienempi ja katetriangiografian tarve vähäisempi verrattuna EKG-tulkintaan. Tutkimus on kustannuksiltaan edullinen (11). Kun tutkimuksen löydös on normaali, sydäntapahtuman ja sydänsairaudesta johtuvan kuoleman riski on todettu laajoissa tutkimuksissa hyvin pieneksi (alle 1 % vuodessa) (12).

Sepelvaltimotaudin aiheuttama iskemia näkyy sydänlihaksen supistumishäiriönä

(**KUVA 1**). Kaikukuvaus tehdään vakioprojektioissa kaikkien sepelvaltimoiden suonitusalueen tutkimiseksi levossa ja rasituksessa. Mikäli osia sydänlihaksesta jää katveeseen, käytetään kaikukuvausvarjoainetta, jolla saavutetaan diagnostinen näkyvyys lähes kaikilla potilailla (13).

Uusi liikehäiriö pienen työkuorman tai lääkeannoksen yhteydessä ennustaa infarktin tai sydänperäisen kuoleman ilmaantumista ja rintakivun lievittymistä pallolaajennushoidolla (14,15). Jos taas potilaan levossa ollessa havaittava supistumishäiriö korjaantuu pienellä dobutamiiniannoksella, on todennäköistä, että sydänlihas on elinkykyinen ja sen toiminta voi parantua revaskularisaation jälkeen (1).

Tulkinnassa huomioidaan iskemian vaikeus (lievä tai vaikea supistumishäiriö), sijainti, laajuus ja kuorma, jolla iskemia ilmaantuu (1).



KUVA 2. Sepelvaltimovirtausreservin mittaaminen rasisuskaikukuvauksessa. Vasemmalla on modifioitu kärkiprojektio, jossa sydämen etupinnalla (kammioväliseinän kohdalla) näkyy vasemman eteen laskevan sepelvaltimon virtauksen aiheuttama väriddopplersignaali (nuoli), kun mitta-asteikkoa on pienennetty (Nyqvistin raja-arvo 0,27 m/s). Oikealla alhaalla näkyy pulsoivalla dopplerilla vastaavasta kohdasta rekisteröity virtaus, jossa näkyy diastoleen painottuva sepelvaltimovirtaus, jonka nopeus nuolen osoittamassa kohdassa on noin 0,2 m/s. Oikealla ylhäällä näkyy virtaus laskimoon annettavan adenosini-infuusion aikana. Tällöin alkudiastolinen virtausnopeus suurenee noin kolminkertaiseksi (0,6 m/s). Ultraäänellä mitattua sepelvaltimovirtausnopeuden muutosta adenosinirasituksessa käytetään lähinnä tutkimustarkoituksessa sepelvaltimoiden toiminnan mittaamiseen.

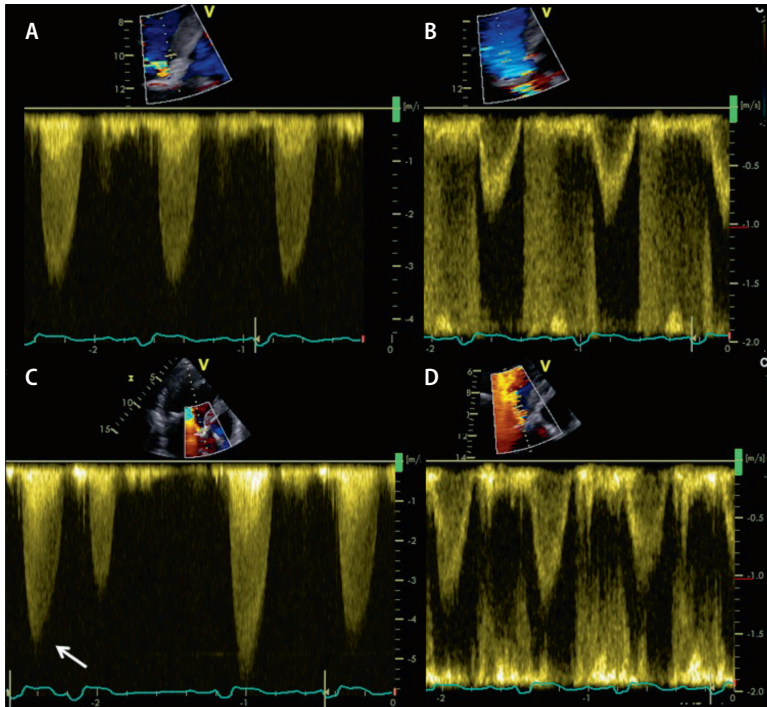
Aika rasisuksen alusta iskemiaan kuvaa ahtauksen hemodynaamista (ei välttämättä angiografista) vaikeutta hyvin. Huomioimalla edellä mainitut tekijät sekä muut rasisuskokeen löydökset saadaan arvio sepelvaltimotaudin laajuudesta ja vaikeudesta sekä sydänlihaksen elinikykyisyydestä, joilla on merkitystä katetriangiografiaa ja revaskularisaatiota harkittaessa.

Koska silmämääräinen arvio on subjektiivinen, rasisuskaikukuvauksen tulkintaa helpottamaan on kehitetty kvantitatiivisia menetelmiä kuten kuduskvantaminen, joka rasisuksessa onnistuu parhaiten kudusdopplerilla suurilla näytetaajuuksilla (yli 160 sekunnissa). Sillä voidaan määrittää sydänlihaksen iskeeminen jälkisystolinen paksuuntuminen sekä supistuminen tai venyminen prosentuaalisesti alkuperäisestä pituudesta (strain). Menetelmä on kuitenkin häiriöherkkä eikä siksi yleisesti käytössä (16,17).

Rasisuskaikukuvauksen suurin ongelma on, että sen toteuttaminen ja oikea tulkinta vaativat perusteellisen koulutuksen ja kokemusta, eikä ilman niitä saavuteta hyvää diagnostista osuutta (1). Siksi sen käyttö sepelvaltimotaudin diagnostiikassa on Suomessa vähäistä.

Leikkauskelpoisuuden arviointi. Rasisuskaikukuvausta on käytetty sydänpotilaan leikkauskelpoisuuden (muu kuin sydänkirurgia) arvioissa silloin, kun potilaan fyysinen suorituskyky on huono (NYHA-luokka III) (18). Vasemman kammion pieni ejektiofraktio, merkittävät läppäviat ja rasisuksen aikana todettu laaja sydänlihaskemia lisäävät sydänkomplikaation (perioperatiivinen infarkti, vajaatoiminta, kuolema) riskiä leikkauksessa. Rasisuskaikukuvaus voidaan tehdä lääkerasisuksena, jos muut sairaudet estävät fyysisen rasisuksen.

Aorttaläppäahtauman vaikeuden arviointi voi olla hankalaa, kun potilas sairastaa sydämen vajaatoimintaa. Kun vasemman kammion ejektiofraktio on pienentynyt, voi kaikukuvauksessa mitattu painegradientti jäädä vaikeassakin aorttaläppäahtaumassa pieneksi vasemman kammion pienen iskutilavuuden takia. Epäily niin sanotusta low-flow-low-gradient-aorttaläppäahtaumasta herää yleensä, jos todetaan epäsuhta jatkuvuusyhtälöllä mitatun läppäaukon pinta-alan (alle 1,0 cm²) ja painegradientin (keskigradietti alle 40 mmHg) välillä, kun vasemman kammion ejektiofraktio on pienentynyt (alle 50 %).



KUVA 3. Dobutamiinirasitustesti aorttaläppäahtauman arvioinnissa, kun vasemman kammion systolinen toiminta on heikentynyt. Aorttaläpän ja vasemman kammion ulosvirtauskanavan virtausnopeusrekisteröinnit levossa (A ja B) ja pienellä nopeudella (20 µg/kg/min) suoneen annettun dobutamiinilääkityksen aikana (C ja D). Stenoosisuihkun huippuvirtausnopeus on levossa 3,0 m/s (keskigradientti 26 mmHg) (A) ja suurenee dobutamiinirasituksessa keskimäärin lukemaan 4,4 m/s (keskigradientti lähes 50 mmHg) (C). Ulosvirtauskanavan virtausnopeus on levossa 0,8 m/s (B) ja suurenee rasituksessa lukemaan 1,1 m/s (D) vasemman kammion iskutilavuuden lisääntymisen vuoksi. Läppägradientti suurenee, mutta läppäaukon laskennallinen pinta-ala säilyy ennallaan (0,8 cm²), mikä sopii merkittävään läppäahtaamaan.

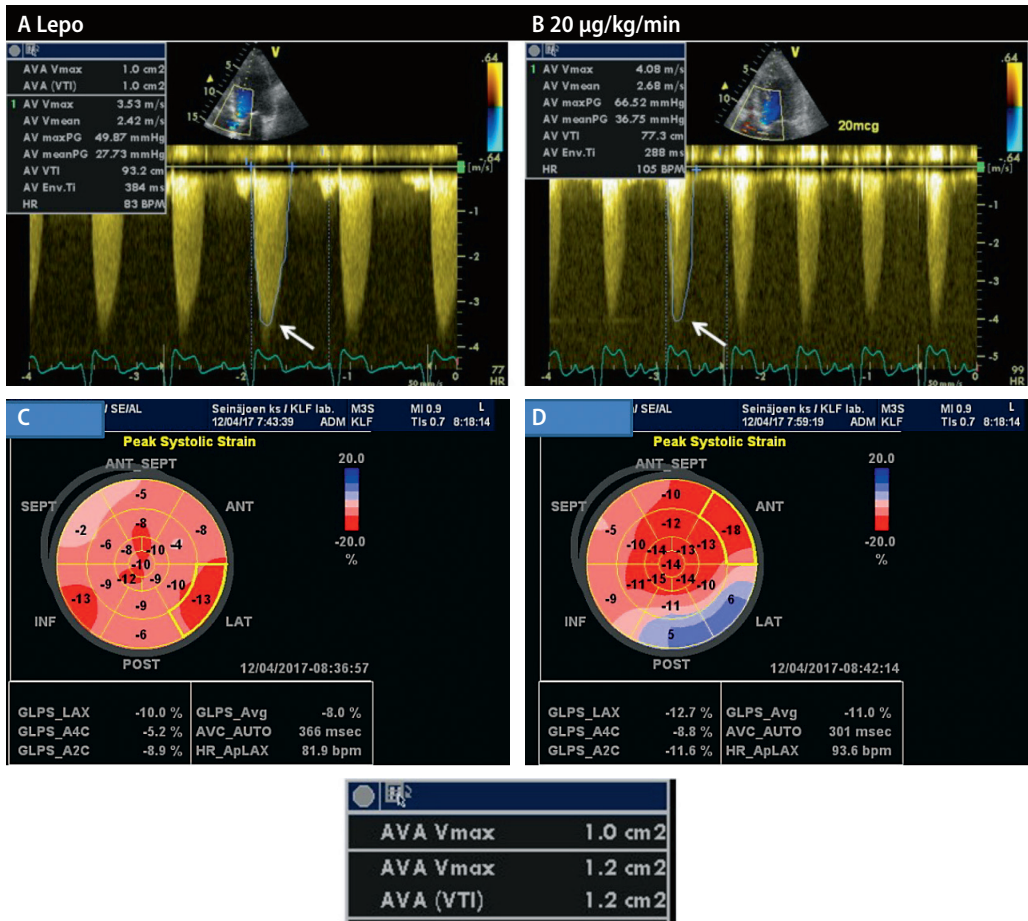
Kun vasemman kammion ejektiofraktio on pienentynyt, dobutamiinirasituskaikukuvausta voidaan käyttää vaikean aorttaläppäahtauman toteamisessa harkittaessa tekoäpän asennusta (19). Kliininen rasituskoel ilman kaikukuvausta riittää vaikeaa aorttaläppäahtaumaa sairastavan potilaan oireiden ja verenpainevasteen arvioimiseksi, mikäli hänen oireisuutensa jää anamneesiin perusteella epäselväksi (19).

Aorttaläppäahtauman diagnostiikassa käytetään pieniannoksista dobutamiinirasitusta (20). Levossa ja rasituksessa määritetään läppäaukon pinta-ala (AVA) jatkuvuusyhtälöllä, vasemman kammion ejektiofraktio ja ulosvirtauskanavasta mitattu iskutilavuus. Vasemman kammion systolista toimintaa on mahdollista arvioida tarkemmin kuduskuvantamisella, ellei syke tihene hyvin nopeaksi (4,16). Tällöin mitataan koko vasemman kammion pitkästäsupistuminen speckle tracking -tekniikalla.

Vaikeassa aorttaläppäahtaumassa keskigradientti suurenee rasituksessa vähintään arvoon 40 mmHg tai huippuvirtaus vähintään arvoon 4 m/s ja laskennallinen aorttaläppäaukon pinta-ala jää alle 1,0 cm²:n (KUVA 3) (21). Kun kyseessä ei ole vaikea aorttaläppäahtauma, painegradientti ei suurene ja mitattu läppäaukon pinta-ala saattaa laajentua sen avautuessa paremmin, kun iskutilavuus lisääntyy.

Tutkimus kuvastaa myös vasemman kammion supistumisreserviä, jota arvioidaan vertaamalla ejektiofraktiota ja iskutilavuutta levossa ja rasituksessa. Heikko supistumisreservi viittaa suurentuneeseen leikkausriskiin. Ejektiofraktion yli 5 %:n paraneminen, pitkästäsupistumisen yli 2 %:n paraneminen tai iskutilavuuden yli 20 %:n lisääntyminen ovat suotuisan ennusteen merkkejä (21,22).

Mikäli iskutilavuus ei suurene rasituksessa, voi syynä olla läppäahtauman ja sydänlihaksen



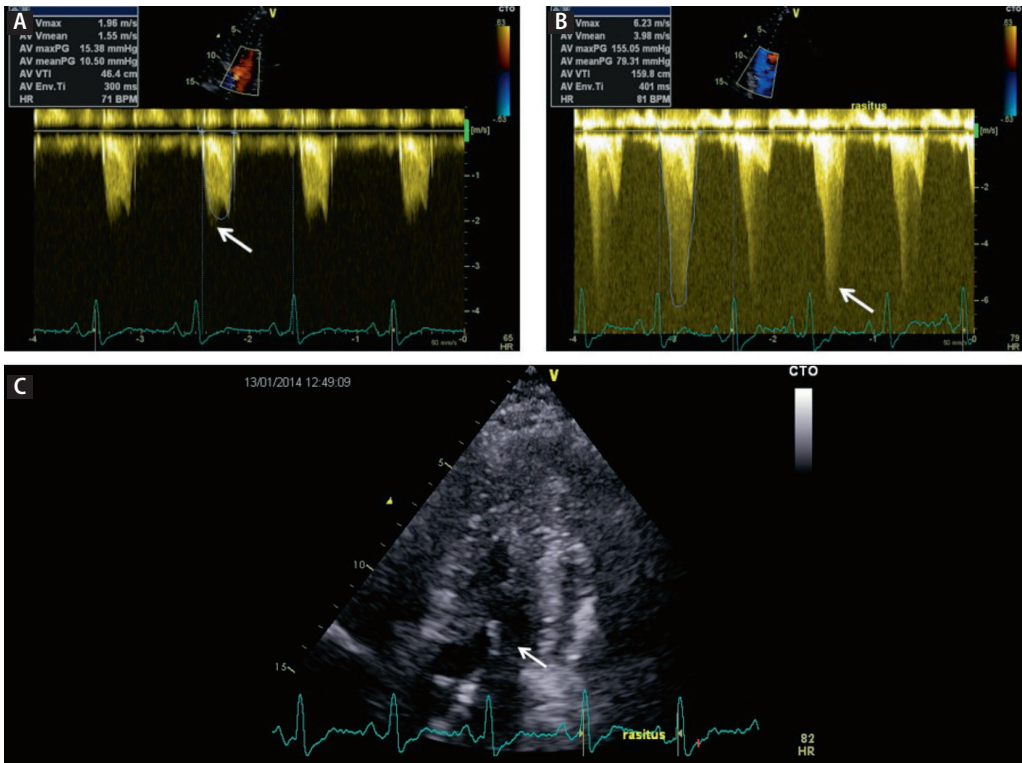
KUVA 4. Dobutamiinirasitus aorttaläppäahtauman arvioinnissa, kun vasemman kammion systolinen toiminta on heikentynyt. Aorttaläpän virtausnopeusrekisteröinnit levossa (A) ja pieniannoksisen dobutamiinirasituksen (20 µg/kg/min) yhteydessä (B). Stenoosisuihkon huippuvirtausnopeus on levossa 3,5 m/s (keskigradientti 28 mmHg) ja dobutamiinirasituksessa keskimäärin 4,1 m/s (keskigradientti 37 mmHg). Läppägradientti suurenee vain vähän ja läppäaukon laskennallinen pinta-ala laajenee vähän (1,0–1,2 cm²), mikä sopii siihen, ettei läppäahtauma ole vaikea. Samalla todetaan merkitsevä ejektiofraktion paraneminen (33 %:sta 45 %:iin) ja vasemman kammion supistuvuuden (LV global strain) lisääntyminen levossa –8 % (C) ja rasituksessa –11 % (D) (speckle tracking). Kuitenkin todetaan myös pienialainen kahden segmentin inferolateraalinen iskemia (sininen).

reservin epäsuhta, riittämätön sepelvaltimovirtauksen lisääntyminen iskemiassa tai sydänlihaskasvaurio sairastetun infarktin vuoksi. **KUVAN 4** potilaalla todettiin AVA:n suurentuminen ja merkitsevä vasemman kammion supistuvuuden paraneminen.

Hypertrofinen kardiomyopatia (HCM) on yleisin perinnöllinen sydänlihassairaus, jonka tyypillinen piirre on sydänlihaksen paksuntuminen (23). Osalla HCM-potilaista todetaan vasemman kammion ulosvirtauskanavan ahtauma, joka voi olla syynä rasisushengenahdistukseen. Ulosvirtauskanavan ahtautumisen

johtuu sekä kammioväliseinän paksuntumisesta että mitraali- eli hiippaläpän etupurjeen taipumisesta ulosvirtauskanavaan verivirran mukana, mihin saattaa liittyä myös hiippaläpän vuoto. Osalla potilaista ahtauma ilmenee levossa, mutta usein se on luonteeltaan dynaamista ja vaikeutuu rasituksessa vasemman kammion iskutilavuuden suurentuessa (23).

Rasituskaikukuvauksen avulla voidaan todeta ulosvirtauskanavan ahtauma, minkä lisäksi se tarjoaa tietoa potilaan toiminnallisesta kapasiteetista ja verenpainevasteesta rasituksessa. Eurooppalaisten suositusten mukaan rasisuskaiku-



KUVA 5. Vasemman kammion ulosvirtauskanavan dynaamisen ahtauman arvioiminen, kun epäillään hypertrofista kardiomyopatiaa. **A.** Levossa todetaan normaali virtaus ulosvirtauskanavassa (2,0 m/s, keskigradientti 11 mmHg). **B.** Kevyessä polkupyörärasituksessa virtaus kiihtyy selvästi (6,2 m/s) ja keskigradientti suurenee merkittävästi (79 mmHg). **C.** Hiippaläpän etupurje koskettaa kammiovälistä, ja kinekuvasa nähdään SAM (systolic anterior movement). Potilaalla on aiemmin todettu myös sepelvaltimotauti, mutta vasemman kammion supistelu on kuitenkin normaali, kun syke on 123/min, joten vasemman kammion ulosvirtauskanavan ahtauma (left ventricular outflow obstruction, LVOTO) selittää hengenahdistuksen tällä kuormituksen tasolla.

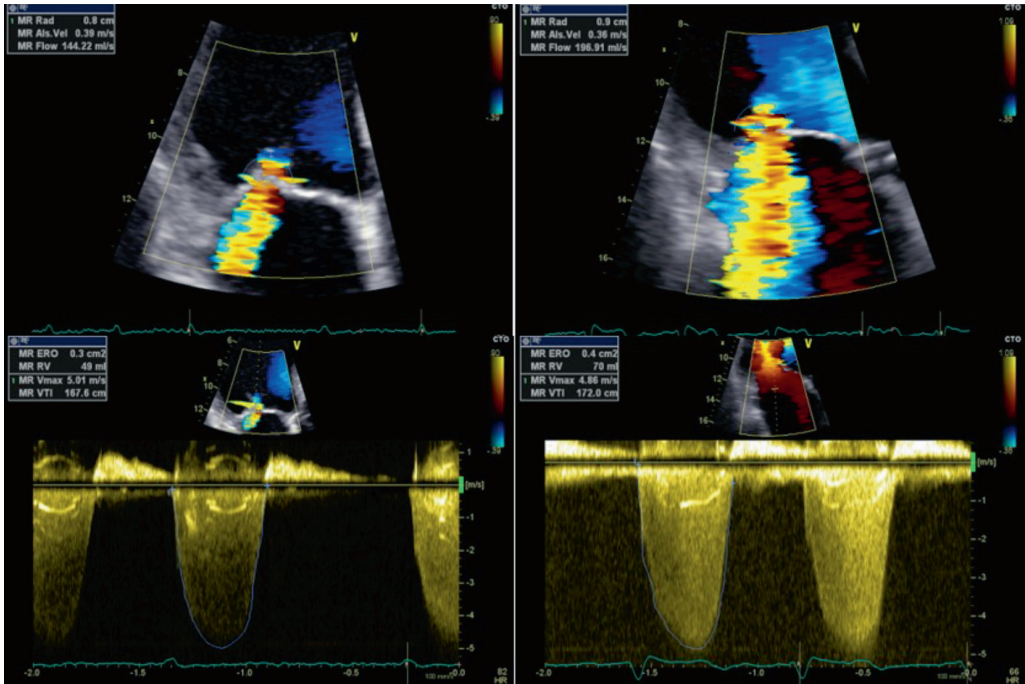
kuvaus on hyödyllinen, kun herää epäily oikeisen HCM-potilaan ulosvirtauskanavan ahtaumasta, mutta ahtauman vaikeus jää epäselväksi levossa. Lisäksi rasisuskaikukuvaus mahdollistaa lääkehoitovasteen arvioimisen ja auttaa arvioimaan ulosvirtauskanavan ahtauman katetri- tai leikkaushoidosta odotettavaa hyötyä.

Rasisuskaikukuvausten yhteydessä merkittävään ahtaumaan viittaa virtausnopeuden kiihtyminen ulosvirtauskanavassa siten, että se vastaa vähintään 50 mmHg:n painegradienttia. Lisäksi heikentynyt suorituskyky, poikkeava verenpainereaktio, iskeeminen seinämäliikehäiriö ja vähentynyt systolinen toimintareservi (strain) ovat huonon ennusteen merkkejä (23). Heikentyneen suorituskyvyn indikaattoreita ovat puolestaan dynaaminen hiippaläpän vuodon pakeneminen ja siihen liittyvä keuhkovaltimopaineen nousu (yli 60 mmHg) (**KUVA 5**).

Vasemman kammion ulosvirtauskanavan ahtaumaa arvioitaessa virtausnopeus mitataan ulosvirtauskanavassa levossa ja heti maksimaalisen rasisustestin jälkeen. Joissain tapauksissa ahtauma voidaan havaita ulosvirtauskanavan sijaan myös kammion sisällä. Beetasalpaaja tautotetaan ennen diagnostista testiä, ellei haluta tutkia lääkehoidon vastetta. Dobutamiinirasisusta ei suositella, koska se voi aiheuttaa ahtauman myös terveille (24).

Hiippaläppäviat. Kliinistä rasisuskoetta voidaan käyttää vaikeaa hiippaläpän vuotoa sairastavan potilaan oireiden arvioinnissa, mikäli hänen oireisuutensa jää anamneesin perusteella epäselväksi (19). Rasisuskaikukuvauksesta puolestaan on hyötyä, mikäli oireiden ja löydösten välillä on epäsuhtaa.

Hiippaläpän vuoto on yleinen sydämen vajaatoimintaa sairastavilla, ja tuoreessa euroop-



KUVA 6. Sydämen vajaatoimintaa sairastavan potilaan hiippaläpän toiminnallisen vuodon voimistuminen rasituksessa. Sydämen vajaatoiminta kehittyi sydäninfarktin jälkeen, ja ejektiofraktio oli kohtalaisesti pienentynyt. Työkyvyn arviona tehdyssä kliinisessä rasituskokeessa todettiin hiippaläpän vuodon vaikeutuminen heti rasituksen jälkeen otetuissa kaikukuissa (oikealla) lepotilanteeseen (vasemmalla) verrattuna. Väridopplerilla (yläkuvat) hiippaläppävuotojetti näkyy suurempana ja vuodon aiheuttama proksimaalinen kiihtyvyyalue on suurempi. Jatkuvalle dopplerilla mitattu vuodon verhokäyrä erottuu voimakkaampana, ja PISA-menetelmällä mitattu las-kennallinen läppäaukko on suurempi (ennen rasitusta 0,3 cm² ja rasituksen jälkeen 0,4 cm²).



KUVA 7. Rasituskaikekuvaus makuupolkupyörällä. Potilas polkee puolimakuulla 2–3 minuutin välein nousevilla vakioportailla (esimerkiksi 20–25 W/3 min). Sänkyä voidaan kallistaa vasemmalle 30–40°, jolloin parasternaalinen ja kärki-ikkuna ovat yleensä hyvät myös rasituksen aikana.

palaisessa aineistossa viidenneksellä systolista vajaatoimintaa sairastavista todettiin vaikea toiminnallinen hiippaläpän vuoto (25). Osalla potilaista hiippaläpän vuoto vaikeutuu rasituksessa ja aiheuttaa keuhkovaltimopaineen nousun sekä rasitushengenahdistuksen (26). Rasituskaikukuvaus mahdollistaa rasituksessa pahenevan hiippaläpän vuodon toteamisen, mutta sen hoidollinen merkitys on vielä epäselvä (KUVAT 6 ja 7) (19).

Hiippaläpän ahtauman yhteydessä sydämen kaikukuvaus on ahtauman vaikeuden ja pallo-laajennushoidon tarpeen arvioinnin kannalta keskeinen tutkimus (4,19). Jos ahtauman vaikeus ei selviä lepotutkimuksessa, voi rasituskaikukuvauksesta olla apua. Vaikean ahtauman yhteydessä läppägradientti suurenee rasituksessa ja keskigradienntti suurenee yli 15 mmHg.

Sydämen vajaatoiminta ja hengenahdistus. Suurella osalla sydämen vajaatoimintaa sairastavista (diastolinen vajaatoiminta, HFpEF) potilaista vasemman kammion ejektiofraktio on normaali (27). Kyseessä on yleensä iäkäs ylipainoinen potilas, jolla todetaan liitännäissairauksina diabetes, verenpainetauti tai eteisvärinä.

Kliinisten oireiden ja löydösten sekä natriureettisten peptidien pitoisuuden mittaamisen ohella sydämen kaikukuvaus on tärkeä tutkimus sydämen vajaatoimintaa epäiltäessä. Siinä voidaan todeta pienentynyt vasemman kammion ejektiofraktio (systolinen vajaatoiminta, HFrEF) sekä muitakin sydämen vajaatoiminnan diagnoosia tukevia löydöksiä, kun ejektiofraktio on normaali. Näitä ovat suuri vasemman eteisen koko (tilavuus yli 34 ml/m²), suurentunut vasemman kammion lihasmassan määrä (naisilla yli 95 g/m² ja miehillä yli 115 g/m²) ja diastolinen toimintahäiriö.

Vasemman kammion kohonnut täyttöpaine on keskeinen sydämen vajaatoiminnan löydös. Kaikukuvauksessa täyttöpainetta arvioitaessa mitataan vasemman kammion sisäänvirtausprofiili dopplerilla ja hiippaläppärenkaan alkudiastolinen liikenopeus (e') kudosdopplerilla. Hiippaläpän alkudiastolisen sisäänvirtausnopeuden (E) ja hiippaläpän anuluksen liikenopeuden suhde (E/e') kuvastaa vasemman kammion täyttöpainetta. Normaaliin täyttöpaineeseen

viittaa E/e' alle 10 ja kohonneeseen täyttöpaineeseen E/e' yli 14. Rasituskaikukuvaus voi auttaa epäiltäessä sydämen vajaatoimintaa hengenahdistuksen syyksi, koska siinä voidaan havaita vajaatoiminnalle tyypillinen poikkeava vasemman kammion täyttöpaineen nousu rasituksessa (4,28).

Diastolisen toiminnan arviointi kaikukuvauksessa on vaativaa, mutta monipuolisesti säädettävä makuupolkupyörä helpottaa mitausten suorittamista. Sydämen vajaatoimintaan sopiva löydös on kohonnut vasemman kammion täyttöpaine (E/e' yli 14), lisäksi keuhkovaltimopaineen kohoaminen (trikuspidali- eli kolmiliuskaläpän vuodon virtausnopeus yli 2,8 m/s) rasituksessa voi viitata vajaatoimintaan. Vasemman kammion minuuttitilavuuden pieneneminen saattaa selittää potilaan ahdistusoiretta. Hengenahdistuksen erotusdiagnoosiikassa voidaan todeta myös sydänlihasiskemia tai hiippaläpän vuodon vaikeutuminen. Lääkerasituksilla ei ole sijaa diastolisen toiminnan arvioinnissa.

Lopuksi

Rasituskaikukuvaus on monipuolinen tutkimus, jonka avulla saadaan tietoa sydämen toiminnasta ja hemodynamiikasta rasituksessa. Tutkimuksen suoritus ja tulkinta vaativat kokemusta, mutta se auttaa diagnostiikan ja hoidon ongelmatilanteissa arvioitaessa muun muassa ahtauttavaa sepelvaltimotautia, aorttaläppäahtaamaa, vasemman kammion ulosvirtauskanavan ahtaamaa, hiippaläppää tai sydänpotilaan leikkauskelpoisuutta. Päätös rasituskaikukuvauksesta tehdään tapauskohtaisesti, mikäli siitä saatava tieto auttaa oikean hoidon valintaa. ■

ANTTI LOIMAALA, dosentti, ylilääkäri
PET/TT-yksikkö, Meilahti, HUS, Kuvantaminen, HYKS

ANTTI SARASTE, professori, ylilääkäri
TYKS, Sydänkeskus

VASTUUTOIMITTAJA
Jussi Naukkarinen

KIRJALLISUUTTA

1. Pellikka PA, Arruda-Olson A, Chaudhry FA, ym. Guidelines for performance, interpretation, and application of stress echocardiography in ischemic heart disease: from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2020;33:1–41.
2. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, ym. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2020;41:407–77.
3. Sicari R, Nihoyannopoulos P, Evangelista A, ym. Stress echocardiography expert consensus statement – executive summary. *Eur Heart J* 2009;30:278–89.
4. Lancellotti P, Pellikka P, Budts W, ym. The clinical use of stress echocardiography in nonischemic heart disease: recommendations from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:1191–229.
5. Picano E, Pellikka PA. Stress echo applications beyond coronary artery disease. *Eur Heart J* 2014;35:1033–40.
6. Laukkanen J, Nieminen T, Savonen K, ym. Kliinisen rasituskokeen käyttö sydänsairauksissa – Suomen Kardiologisen Seuran työryhmän suositus. *Suom Lääkäril* 2016;71:633–43.
7. Khan H, Jaffar N, Rauramaa R, ym. Cardiorespiratory fitness and non fatal cardiovascular events: A population-based follow-up study. *Am Heart J* 2017;184:55–61.
8. Gupta S, Rohatgi A, Ayers CR, ym. Cardiorespiratory fitness and classification of risk of cardiovascular disease mortality. *Circulation* 2011;123:1377–83.
9. Porela P, Mäntylä P, Blek-Vehkaluoto M, ym. Stabiili sepevaltimotauti. Käypä hoito –suositus. *Duodecim* 2015;131:967–8.
10. 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;39:3322–330.
11. Zacharias K, Ahmed A, Shah BN, ym. Relative clinical and economic impact of exercise echocardiography vs. exercise electrocardiography, as first line investigation in patients without known coronary artery disease and new stable angina: a randomized prospective study. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:195–202.
12. Smulders MW, Jaarsma C, Nelemans PJ, ym. Comparison of the prognostic value of negative non-invasive cardiac investigations in patients with suspected or known coronary artery disease—a meta-analysis. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:980–7.
13. Senior R, Becher H, Monaghan M, ym. Clinical practice of contrast echocardiography: recommendation by the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) 2017. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:1205.
14. Pingitore A, Picano E, Varga A, ym. Prognostic value of pharmacological stress echocardiography in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1999;34:1769–77.
15. 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;140:1971–80.
16. Voigt J, Exner B, Schmiedehausen K, ym. Strain-rate imaging during dobutamine stress echocardiography provides objective evidence of inducible ischemia. *Circulation* 2003;107:2120–6.
17. Butz T, van Buuren F, Mellwig K, ym. Two dimensional strain analysis of the global and regional myocardial function for the differentiation of pathologic and physiologic left ventricular hypertrophy: a study in athletes and in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Int J Cardiovasc Imaging* 2011;27:91–100.
18. Kristensen SD, Knuuti J, Saraste A, ym. 2014 ESC/ESA Guidelines on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management: the Joint Task Force on non-cardiac surgery: cardiovascular assessment and management of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Society of Anaesthesiology (ESA). *Eur Heart J* 2014;35:2383–431.
19. Baumgartner H, Falk V, Bax JJ, ym. 2017 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 2017;38:2739–91.
20. de Filippi CR, Willett DL, Brickner ME, ym. Usefulness of dobutamine echocardiography in distinguishing severe from non-severe valvular aortic stenosis in patients with depressed left ventricular function and low transvalvular gradients. *Am J Cardiol* 1995;75:191–4.
21. Monin JL, Quere JP, Monchi M, ym. Low-gradient aortic stenosis: operative risk stratification and predictors for long-term outcome: a multicenter study using dobutamine stress hemodynamics. *Circulation* 2003;108:319–24.
22. Bartko PE, Heinze G, Graf S, ym. Two dimensional strain for the assessment of left ventricular function in low flow-low gradient aortic stenosis, relationship to hemodynamics and outcome: A substudy of the multicenter TOPAS study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012;6:268–76.
23. Elliott P, Anastasakis A, Borger MA, ym. 2014 ESC Guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy: the task force for the diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2014;35:2733–79.
24. Pellikka P, Oh J, Bailey K, ym. Dynamic intraventricular obstruction during dobutamine stress echocardiography. A new observation. *Circulation* 1992;86:1429–32.
25. Goliash G, Bartko PE, Pavo N, ym. Refining the prognostic impact of functional mitral regurgitation in chronic heart failure. *Eur Heart J* 2018;39:39–46.
26. Piérard LA, Lancellotti P. Dyspnea and stress testing. *N Engl J Med* 2006;354:871–3.
27. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, ym. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: the Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur J Heart Fail* 2016;18:891–975.
28. Vasan R, Larson M, Benjamin E, ym. Congestive heart failure in subjects with normal versus reduced left ventricular ejection fraction: prevalence and mortality in a population-based cohort. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:1948–55.

SIDONNAISUDET

Antti Loimaala: Luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (GE Healthcare Finland Oy, Jorgine Danmark A/S, Institut Produits Synthese), luottamustoimet (Finnish Accreditation Service (FINAS), European Society of Cardiology (ESC)), muut sidonnaisuudet (Bayer AG, lääketutkimus, Orion Oy, lääketutkimus, Suomen Kardiologinen Seura, asiantuntija, SpinEcho Oy, hallinto)

Antti Saraste: Apuraha (Astra Zeneca), luentopalkkio/asiantuntijapalkkio (Astra Zeneca, Novartis, Bayer, Abbott, Amgen), korvauset koulutus- ja kongressikuluista (Bayer, Abbott, Boehringer Ingelheim), luottamustoimet (Sydäntutkimussäätiö, Suomen Kardiologinen Seura, European Society of Cardiology)