

Ekokardiografi – kardiologens viktigaste arbetsredskap

KAJ GROUNDSTROEM OCH MINNA KYLMÄLÄ

Vid hjärtundersökningar är ekokardiografi den bäst tillgängliga icke-invasiva avbildningsmetoden. Den tvådimensionella bilden utgör fundamentet vid bedömning av hjärtfunktion, medfödda fel, tromber, tumörer, klaffar och deras stödstrukturer. Den endimensionella ekokardiografibilden visar en mycket skarp gräns mellan olika vävnader såsom blod och muskelvävnad. Dopplermetoden, som mäter frekvensförändringen i den återvändande signalen från de röda blodkropparna, visar blodflödets hastighet. Genom att elektroniskt ge flödet olika färg mot och från givaren kan man se blodflödets riktning. Klaffsjukdomar kan sålunda följas upp och behandlas utan hjärkatetrisering.

Vid transtorakal ekokardiografi kan ekostrålens ställning fritt varieras enligt anatomin. Bildens kvalitet blir dock lidande av avståndet och mellanliggande vävnad. Den transesofageala givaren ligger mot hjärtat med endast matstrups – eller magsäcksväggen emellan. Höga frekvenser möjliggör skarp återgivning av hjärtats strukturer.

Visuell bedömning ger värdefull kardiologisk information. Ett tränat öga kan utifrån den tvådimensionella bilden bedöma kammarfunktionen tämligen pålitligt ("eyeballing"). Det traditionella måttet på kammarfunktionen, ejektionsfraktionen, kan mätas både en-, två- och tredimensionellt. Diastole består av olika faser som beror förutom på ålder också på hjärtsjukdom, hjärtats rytm, tryck och volymförhållanden. Vi mäter blodflöden och tidsintervaller och jämför dem med referensvärden och med varandra. Ekokardiografi är den idealiska metoden för uppföljning av hjärtpatienter.

Inledning

Ekokardiografi är icke-invasiv, kräver inte joniserande strålning eller kontrastmedel och är närapå gratis vad undersökningsutrustningen för en patient beträffar. Utredning av blåsljud, andfäddhet, bröstsmärtor och arytmier kan göras på mottagningen och ger en fingervisning på vad som kan orsaka patientens besvär. Fyndet har också prognostisk betydelse; hjärtats normala funktion och struktur talar nämligen mot allvarliga hjärtsjukdomar. Ekokardiografi är idealisk för uppföljning av hjärtpatienter (1).

SKRIBENTERNA

Kaj Groundstroem, MKD, specialist i kardiologi och inre medicin, docent i kardiologi, FESC, Terveystalo

Minna Kylmälä, MKD, specialist i kardiologi och inre medicin, FESC, FEACVI
Jorvs sjukhus, Hjärt- och lungcentrum, HUS

Teknik

Vid ekokardiografi skapas en bild av hjärtat via ultraljudsvågor som reflekteras från hjärtats strukturer. Principen är densamma som vid ekolod. Blodets flödes hastighet bestäms med hjälp av dopplereffekten då ekostrålen reflekteras från erytrocyterna (2).

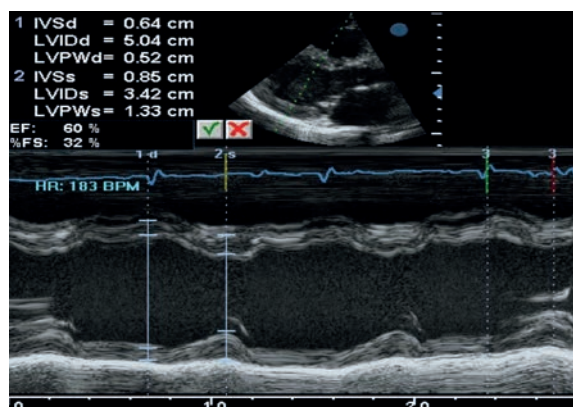
Ekokardiografi genom bröstkorgsväggen kallas transtorakal ekokardiografi (TTE). Mer detaljerade bilder av till exempel hjärtsklaffar erhåller man vid transesofageal ekokardiografi (TEE), där givaren är i matstrupen och därmed närmare hjärtat (3). Intrakardiell ekokardiografi görs transvenöst med givare smala som hjärkatetrar. Tekniken används främst vid intrakardiella kateteringrepp för att styra katetrar vid punktion av förmaksseptum (2).

Ultraljudsmodaliteter

Det finns olika modaliteter för att avbilda hjärtats strukturer, blodflöden och hjärtmuskeln funktion.

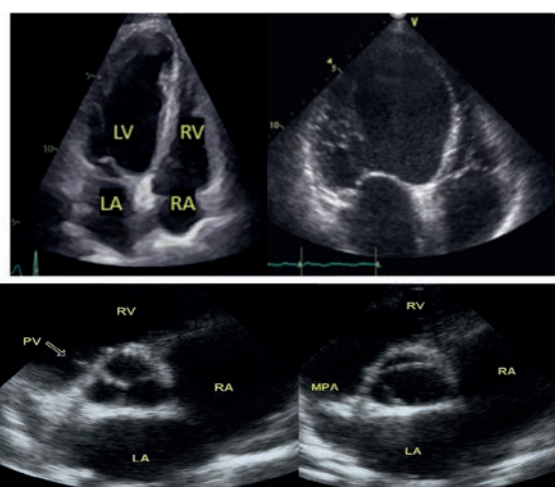
Figur 1. Parasternal M-modebild av vänstra kammarens diameter och väggtjocklekar under hjärtcykeln.

IVSd = interventrikulära septum i diastole och IVSs = systole, LVEDd = vänster kammare i diastole och LVEDs = systole, LVPWd = posteriora väggen i diastole och LVPWs = systole, EF = ejektionsfraktionen, FS = procentuell förkortning av vänster kammarens diameter under systole.



Figur 2. 2D-bilder av hjärtat.

Övre raden: Apikala bilder av hjärtats kammare och förmak. På bilderna är hjärtat upp-och-nervänt. Till vänster ser vi ett friskt hjärta. Till höger ser vi ett sjukt hjärta med dilaterad kardiomyopati. Vänstra kammaren är betydligt större än hos det friska hjärtat, även vänstra förmaket är större. LV = vänster kammare, RV = höger kammare, LA = vänster förmak, RA = höger förmak.



Nedre raden: Korta axelns vy av aortaroten, pulmonalklaffen och pulmonalartären. Aortaklaffen är i mitten. På den vänstra bilden är aortaklaffen stängd, på den högra bilden är den öppen. Vi ser tre normala klaffsegel. Observera att pulmonalklaffen ligger kranialt om aortaklaffen. MPA = pulmonalartären, PV = pulmonalklaffen, LA = vänster förmak, RA = höger förmak.

Avbildning av hjärtats strukturer

Den endimensionella M-modebilden (motion) skapas av en ultraljudsstråle (figur 1). Den ger en mycket skarp bild av planet mellan blod och hjärtmuskel. Rätt placering av M-modestrålen sker med hjälp av 2D-bilden. M-mode används främst för att mäta vänstra kammarens diameter och väggtjockleken. Kamardiametern kan matematiskt omvandlas till volymer som ger ejektionsfraktionen, som är ett mått på pumpfunktionen (2).

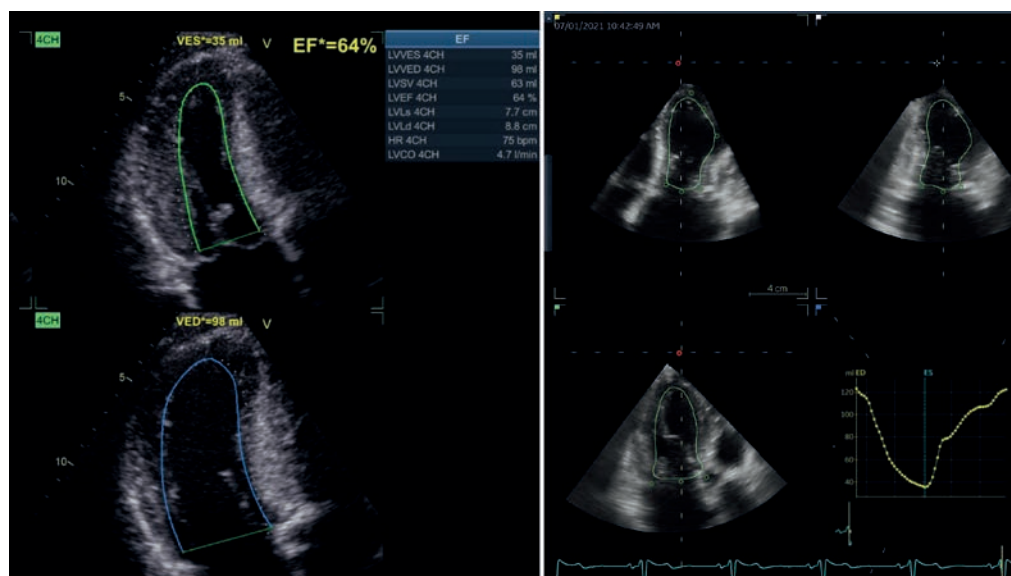
Den tvådimensionella (2D) bilden är fundamentet för ekokardiografi. Mätningar av hjärtats hålrum, väggtjocklekar och stora kärl kan ske från 2D-bilden (figur 2). Pumpfunktionen mäts genom att rita vänstra kammarens endokardium i diastole och systole, helst i två vinkelräta plan (figur 3). Datorprogram omvandlar ytorna till volymer som ger ejektionsfraktionen, som är det viktigaste måttet för vänstra kammarens pumpfunktion. En bra 2D-bild visar oss intrakardiella tromber, tumörer, klaffarna och deras stödstrukturer med mera (2).

Den tredimensionella (3D) bilden kräver särskilda givare. 3D-bilden kan roteras och vi kan se strukturer från olika vinklar och se till exempel vilken del av mitralisklaffen som prolaberar. Färgdoppler som inkorporerats i bilden underlättar bedömningen. Med 3D-tekniken kan man mäta volymerna av hjärtats kammare och förmak (figur 3 och 4). 4D kallas den teknik när man mäter hur volymerna ändras under hjärtcykeln och då är tid den fjärde dimensionen. Av fysikaliska skäl är bilden inte lika skarp som 2D, men den är ett utmärkt redskap vid bedömning av vitier (2).

Avbildning av blodflöden

Dopplereffekten är frekvensförskjutningen mellan den utgående och reflekterade eko-signalen från de röda blodkropparna. Den ger oss blodflödets hastighet och riktning. Ekostrålen styrs med hjälp av 2D-bilden.

Pulserande doppler (PW) registrerar låga flödes-hastigheter från samplerns plats (markerad med två streck i ändan av den röda linjen), till exempel mitralostiet (figur 5).

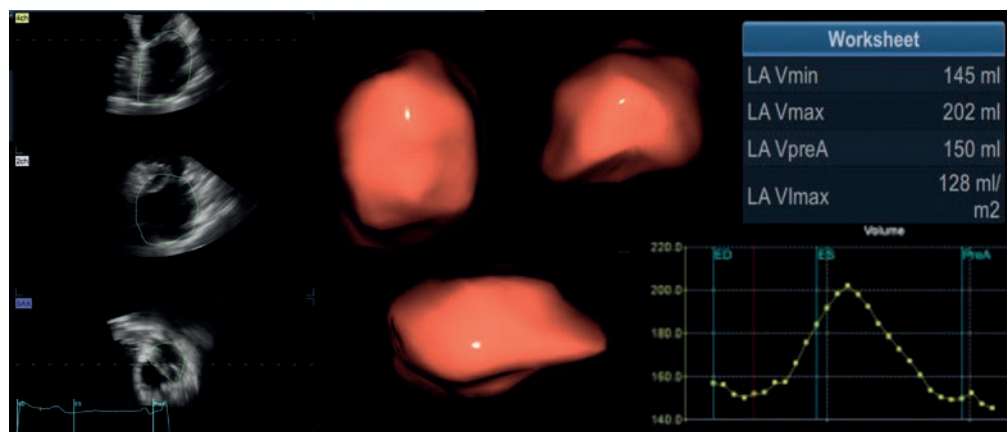


Figur 3. Bestämning av vänstra kammarens ejektionsfraktion (EF). Till vänster ser vi en apikal 2D-bild av vänstra kammaren, där gränsen mellan endokardium och blod är markerad med ett grönt streck i slutet av systole och med ett blått streck i slutet av diastole. Apparaten omvandlar dessa ytor matematiskt till volymer, slagvolym och EF. Slagvolym = volymen i diastole minus volymen i systole. EF = slagvolymen dividerad med volymen i diastole.

Till höger ser vi tre apikala längdsnitt av vänster kammare avbildade med 3D-teknik.

Med 3D-tekniken får vi ett direkt mått av vänstra kammarens volym, utan matematiska formler.

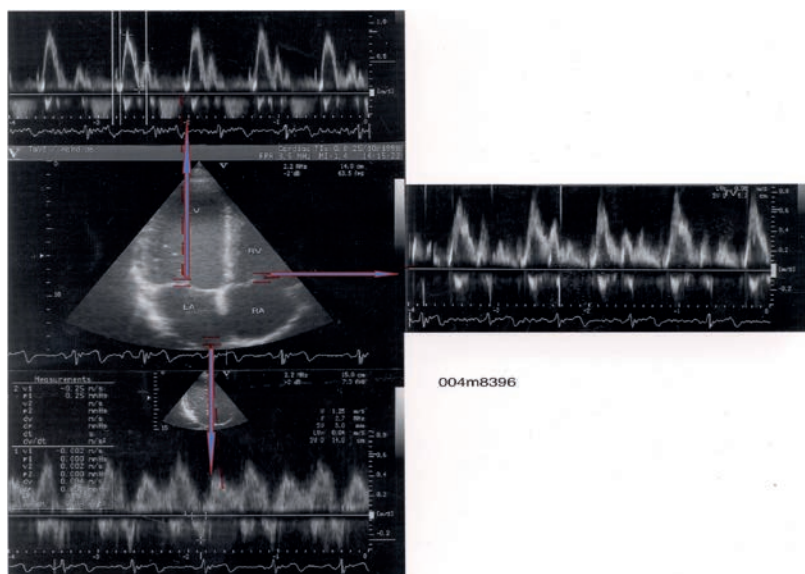
Vänstra kammarens volymer kan mätas under hela hjärtcykeln, och resultatet kan framställas som en kurva. Då talar vi om 4D-teknik med tid som den fjärde dimensionen. 4D-tekniken är den mest tillförlitliga ekokardiografiska metoden för att mäta EF.



Figur 4. 3D-bilder av vänster förmak i olika projektioner när förmaket är som störst. Övre referensvärdet för förmaksvolymen är 43 ml/m². Förmaket på bilden är kraftigt förstorat, 128 ml/m². 3D-tekniken är den mest tillförlitliga ekokardiografiska metoden för att mäta vänstra förmakets volym.

Till höger ses vänstra förmakets volym som en funktion av tiden med 4D-teknik (levande 3D-teknik). Kurvan börjar i slutet av kammardiastole (ED), när vänstra förmakets volym är som minst. Kurvan når sin topp i slutet av kammarsystole (ES), när förmakets volym är som störst. PreA är tidpunkten vid P-vågens början och mäter volymen i början av förmakssystole. Observera att förmakssystole sker i kammardiastole.

LA Vmin = vänstra förmakets minsta volym, LA Vmax = vänstra förmakets största volym, LA VpreA = vänstra förmakets volym i början av förmakssystole, LA VImax = vänstra förmakets volymindex, den största volymen dividerad med kroppens yta.



Figur 5. Dopplerregistrering med pulserande doppler (PW) av blodflödes hastigheten i mitralisklaffen (längst uppe), högra övre lungvenen (längst nere) och trikuspidalklaffen (till höger). Flödet i mitralis- och trikuspidalklaffarna sker i diastole, och flödes hastigheten är större i början av diastole, då klaffarna öppnas och blodet strömmar från förmaken in i kamrarna. Den andra delen av flödet sker då förmaken dras samman. Blod flödar från lungvenerna in i vänster förmak både under systole och under diastole. Vi ser även ett flöde från vänstra förmaket tillbaka in i lungvenen då förmaket dras samman.

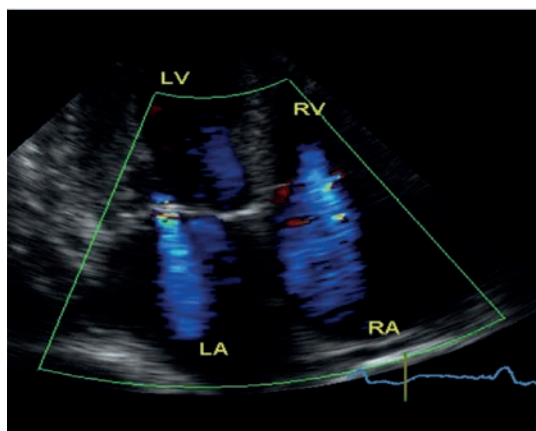
Kontinuerlig doppler (CW) behövs för att mäta högre hastigheter, och ger oss det högsta värdet i ekostrålens väg (2).

Färgdoppler är en funktion i pulserande doppler. Genom att elektroniskt ge rörelse mot (rött) och från (blått) givaren olika färger ser man blodflödets riktning. Färgdoppler hör till de viktigaste verktygen vid bedömning av till exempel läckage i hjärklaffarna (figur 6). Trots att färgdoppler är en funktion för hastighet och inte för volym, är färger till stor nytta, särskilt vid bedömning av klaffläckagens betydelse. Färg registrerar också normalt förekommande fysiologiska klaffläckage som vi måste kunna tolka för patienten. Med hjälp av färgdoppler kan man även identifiera shuntflöden (2).

Avbildning av hjärtmuskeln funktion

Vävnadsdoppler registrerar myokardiets rörelsehastighet och rörelseriktning (figur 7). För att ge snabba och mycket små förskjutningar siffrvärden krävs det att mätningvärdet uppdateras ("frame rate") upp till 200/sekund. Vävnadshastigheterna är särskilt värdefulla vid bedömning av den diastoliska funktionen (2, 4).

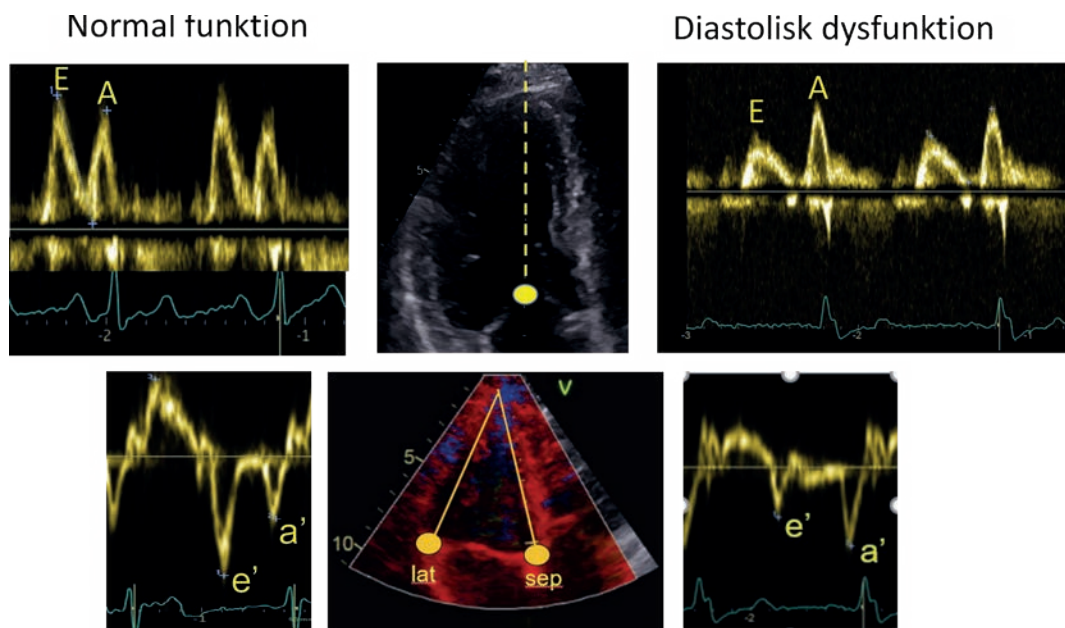
Strainavbildning mäter deformation i hjärtmuskeln och är ett mått på hjärtmuskeln kontraktionskraft. Med ögat kan vi kvalitativt uppskatta deformation i radialriktning, det vill



Figur 6. Lindrig mitralis- och trikuspidalisinsufficiens. Den systoliska färgdopplerbilden visar smala läckageflöden i förmaken.

LV = vänster kammare, RV = höger kammare, LA = vänster förmak, RA = höger förmak.

säga förtjockning av hjärtmuskeln i systole. Med strainavbildning kan vi mäta hur mycket hjärtmuskelväggen förkortas i längdriktning under systole. Normalvärdet för strain är cirka -20 procent (minustecken på grund av att förkortning är en negativ deformation). Med strainavbildning kan vi till exempel upptäcka och lokalisera ischemi och ärrvävnad. GLS, global longitudinal strain, är ett mått på hela



Figur 7. Bestämning av vänstra kammarens diastoliska funktion. Övre raden: Mätning av blodflödet i mitralostiet med pulserande doppler.

Hos unga friska människor med god diastolisk funktion (ett effektivt "sug") fylls vänstra kammaren till största delen redan i början av diastole (E-vågen). Då är E högre än A. En liknande kurva hos äldre personer (över 60 år) förorsakas vanligtvis av ett förhöjt tryck i vänstra förmaket, en följd av försämrade diastoliska funktion. Hos friska äldre personer är det normalt att E är lägre än A, då "suget" inte längre är så effektivt och flödet i början av diastole sker långsammare. Förmakskontraktionen (A-vågen) har då större betydelse vid fyllnaden av den något förstelnade kammaren.

Nedre raden: Mätning av rörelsehastigheten av mitralisanulus med vävandsdoppler.

Vid normal diastolisk funktion är e' högre än a' som på bilden till vänster. Vid diastolisk dysfunktion är e' lägre än normalt (< 7 cm/s septalt, < 10 cm/s lateralt) och a' högre än e'. Vid svår diastolisk dysfunktion är både e' och a' mycket låga (< 5 cm/s).

Då fyllnadstrycket i vänstra förmaket höjs, stiger E i förhållande till e'. $E/e' > 14$ tyder på förhöjt tryck i vänstra förmaket och är diagnostiskt för diastolisk hjärtsvikt.

vänstra kammarens funktion. I jämförelse med ejektionsfraktionen är GLS mer sensitiv och kan upptäcka hjärtsjukdomar i ett tidigare skede. GLS används till exempel vid uppföljning av patienter som behandlas med potentiellt hjärtoxiska cytostatika (figur 8) (5).

Strain kan mätas med vävnadsdoppler eller med speckle tracking. Med vävnadsdoppler är det även möjligt att mäta deformationens hastighet, strain rate, som har ett nära samband med myokardiets kontraktilitet (2). **Speckle tracking-tekniken** mäter akustiska markörers rörelsehastighet inne i myokardiet. Tekniken har inte tillräckligt hög frame rate för att mäta strain rate. Tack vare sin enkla och robusta utformning har speckle tracking-tekniken etablerat sig väl (2, 6).

Indikationer för ekokardiografi

Symtom som andnöd, bröstsmärta, nedsatt fysisk kondition och arytmier kan tyda på

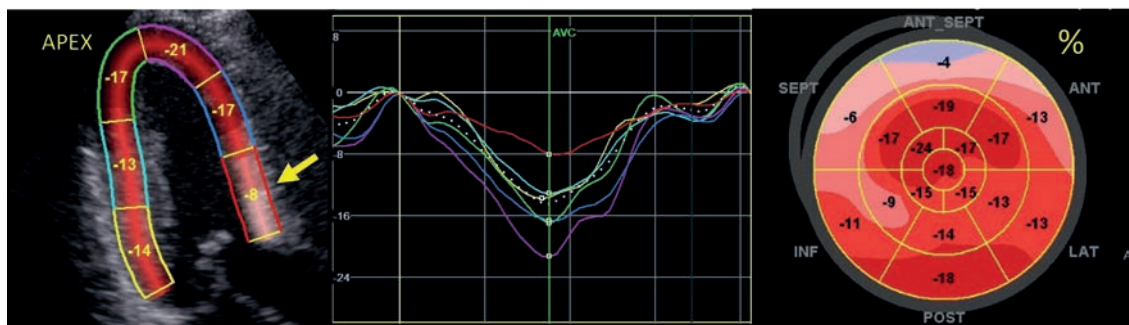
hjärtsjukdom. Svullnader, blåsljud och avvikande fynd i EKG och thoraxbild kan också väcka misstanke om hjärtsjukdom. Avbildning av hjärtats strukturer och funktion är väsentlig för diagnostik av hjärtsjukdom. Vid ekokardiografi görs en systematisk bedömning, som även omfattar de proximala delarna av de stora kärlen och mätning av pulmonalstrycket.

Vänster kammarens funktion

Systolisk funktion

Ett tränat öga kan bedöma vänstra kammarens systoliska funktion tämligen pålitligt ("eyeballing"). Förutom den globala funktionen bedömer man även den lokala funktionen. Lokalt nedsatt kontraktion tyder på en muskelskada, till exempel ett infarktarr.

Det traditionella måttet på kammarfunktionen är slagvolymens procentuella andel av den



Figur 8. Strainavbildning av vänstra kammaren med speckle tracking-teknik. Strainvärden mäter hjärtmuskelskontraktion i längdriktning.

På den första bilden ser vi ett längdsnitt av vänster kammare och strainvärden för kammarens olika segment. Segment med normal kontraktion har den djupaste röda färgen, medan segment med nedsatt kontraktion har svagare färg. Pilen visar kraftigt nedsatt kontraktion i kammarens basala septum.

Bilden i mitten visar strainkurvor från samma hjärtmuskelsegment. Kurvornas topp infaller i slutet av systole, här utmärkt med en vertikal grön linje (AVC, aortic valve closure). Det basala segmentets röda strainkurva är betydligt flackare än de övriga.

Den sista bilden visar vänstra kammaren som en "Bull's eye"-bild. De apikala hjärtmuskelsegmenten är i mitten och de basala segmenten ytterst. Med hjälp av färgerna kan vi tydligt se att de basala segmenten i septum har den sämsta kontraktionen. Bilden är från en patient med hypertrofisk kardiomyopati, där det karakteristiska är mycket låga strainvärden i hjärtmuskelområden med den värsta hypertrofin.

slutdiastoliska volymen, ejektionsfraktionen (EF) (figur 3). Normalvärdet är över 50 procent. EF används universellt, är lätt att förstå och är etablerad inom klinisk kardiologi. Storheten kritiserar bland annat för att den inte är ett mått på myokardiets kontraktilitet trots att vi är böjda att tolka den så (7). EF är ett viktigt mått, för nedsatt EF tyder på försämrad prognos och styr därför behandlingen.

Strain kan diagnostisera nedsatt systolisk funktion genom att den upptäcker subtila förändringar i myokardiets funktion innan EF blir nedsatt (5). Strain hjälper även till att upptäcka lokala störningar i kontraktionen (figur 8).

Diastolisk funktion

Diastole är en aktiv fas i hjärtcykeln. Den är lika viktig för blodcirkulationen som den systoliska funktionen. Under diastole slappnar hjärtmuskeln av och kamrarna fylls både genom passivt flöde från förmaken och av förmakens kontraktion, förmakssystole.

Kammarhypertrofi och ett förstorat vänster förmak är viktiga strukturella indicier på nedsatt diastolisk funktion, som kan mätas utifrån 2D-bilden. Vänstra förmakets volym och funktion kan även mätas med 3D-teknik (figur 4) (8).

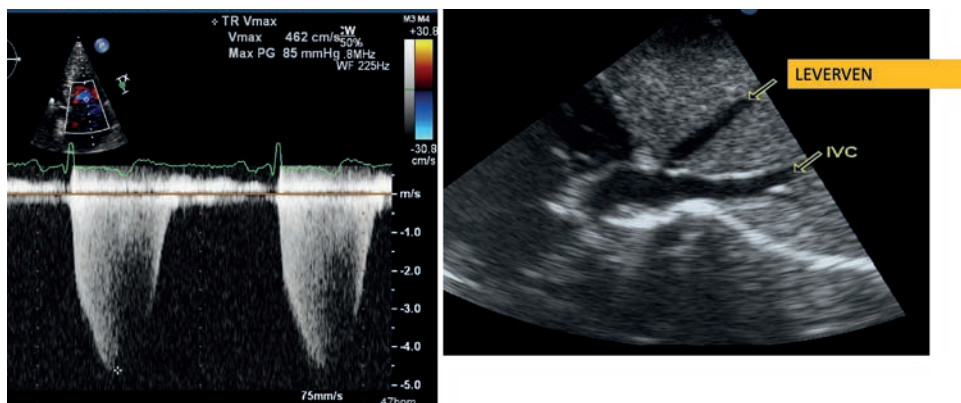
Dopplertekniken är speciellt viktig i bedömningen av diastolisk funktion. Med pulserande doppler (PW) mäter man blodets flöde från

vänster förmak till kammaren. Under sinus-rytm ses en passiv E-våg (early) i början av diastole, som efter en kort diastas följs av en aktiv A-våg (atrial) i och med förmakskontraktionen. Förhållandet E/A påverkas av vänstra kammarens eftergivlighet och trycket i förmaket (fyllnadstryck) (figur 7) (8).

Med vävnadsdoppler mäter man rörelse-hastigheten av mitralisanulus. Då E- och A-vågen transporterar blod från förmaket till kammaren, rör sig mitralisanulus i motsatt riktning. Den fysiologiska betydelsen ligger i att en större del av blodpelaren mellan vänstra kammarens spets och vänstra förmakets tak befinner sig på kammarsidan när mitralisklaffen slår igen. Vävnadshastigheterna i annulus benämns e' och a' . Vid försämrad relaxation (avslappning) blir e' mindre, och när vänstra kammarens fyllnadstryck stiger blir förhållandet E/e' större (figur 7) (4).

Höger kammarens funktion

Höger kammarens EF är svår att mäta eftersom dess form inte tillåter geometriska antaganden om volymerna i diastole och systole. I stället kan man använda kammarens yta och den fria väggens systoliska rörelse med M-mode eller vävnadsdoppler som funktionsmått. Mätningarna av höger kammarens funktion får större tillförlitlighet då man kombinerar dem med strain- och 3D-teknik (7).



Figur 9. Bestämning av pulmonalstrycket och ventrycket.

Till vänster ser vi dopplerregistrering med kontinuerlig doppler (CW) av flödes hastigheten i ett läckage i trikuspidalklaffen. Flödes hastigheten 4,6 m/s är kraftigt förhöjd (normalt < 2,8 m/s) och beror på ett högt tryck i pulmonalartären. Det systoliska trycket i höger kammare är detsamma som i pulmonalartären. Förhöjt tryck i högra kammaren leder till en större tryckskillnad mellan kammaren och förmaket, och flödes hastigheten i klaffläcket stiger. Flödes hastigheten kan matematiskt räknas om till tryckgradienten ($4 \times v^2$), som i detta fall är 85 mmHg och tyder på svår pulmonell hypertension.

Till höger en subkostal bild av den nedre hålvenen (IVC) och levervenen. Hjärtat vilar på diafragma och ekostrålen går delvis genom levern. Då ventrycket stiger (= trycket i höger förmak) dilateras både hålvenen och levervenerna. Dessutom leder ett förhöjt ventryck till att minskningen i hålvenens diameter under kraftig inandning är mindre än 50 procent.

Diagnostik av hjärtsvikt

Ekokardiografi är av avgörande betydelse vid diagnostisering av hjärtsvikt och utredning av orsakerna. De vanligaste orsakerna är hypertoni och ischemi. Andra relativt vanliga orsaker är klaffsjukdomar och kardiomyopier. Mera sällsynta orsaker är inflammatoriska sjukdomar, inlagringssjukdomar och medfödda hjärtfel. Högersidig hjärtsvikt är oftast en följd av vänster kammarsvikt, men kan även bero på förhöjt pulmonalstryck av någon annan orsak, varav tromboemboli är den vanligaste orsaken.

Systolisk hjärtsvikt innebär nedsatt vänsterkammerfunktion ($EF < 50\%$). Diastolisk hjärtsvikt beror på nedsatt diastolisk funktion, varvid pumpfunktionen kan verka normal ($EF > 50\%$). Diastolisk dysfunktion föregår oftast nedsatt systolisk funktion. Nedsatt GLS kan visa att den systoliska funktionen är nedsatt trots normal EF (2, 5).

Med ekokardiografi kan man påvisa tryckstegring i vänster förmak, en komponent vid hjärtsvikt. Fynd som tyder på förhöjt fyllnadstryck är högt E/e' (> 14), förstorat vänster förmak och förhöjt pulmonalstryck. Det höga trycket i vänster förmak förmedlas till lungkappillärerna. Då höger kammare måste arbeta mot det förhöjda blodtrycket i lungkretsloppet, kan det till och med leda till högerkammarsvikt med förhöjt ventryck (8). Det systoliska trycket

i pulmonalartären och höger kammare är identiska, förutsatt att pulmonalklaffen är intakt. Trikuspidalklaffen visar normalt ett läckage som ger möjlighet att bedöma högerkammарtrycket i systole genom att till tryckskillnaden mellan höger kammare och förmak addera det uppskattade trycket i höger förmak. Man får alltså ett pålitligt värde på det systoliska trycket i lungkretsloppet. Den slutdiastoliska gradienten på pulmonalklaffens läckage ger möjlighet att mäta lungkretsloppets diastoliska tryck. Eftersom trikuspidalklaffen står öppen bör man till gradienten addera trycket i höger förmak (ventrycket), som kan uppskattas genom mätning av nedre hålvenens diameter. Vid förhöjt ventryck dilateras hålvenen och diametern minskar till under 50 procent vid kraftig inandning (figur 9) (8).

Kardiomyopier

Kardiomyopier är sjukdomar i hjärtmuskeln. De vanligaste formerna är hypertrofisk kardiomyopati (HCM) och dilaterad kardiomyopati (DCM).

Kardiomyopier finner man vid utredning av symtom som rytmstörningar eller hjärtsvikt, eller vid screening av familjemedlemmar till patienter med kardiomyopati. Med ekokardiografi kan man påvisa typiska strukturella och funktionella förändringar i hjärtat. HCM leder till hypertrofi av vänster

kammare. Strainavbildning kan påvisa nedsatt systolisk funktion i det hypertrofiska området, fastän kammarens globala EF fortfarande är normal (figur 8). Vid utredning av hjärtmuskelfhypertrofi är hypertoni och amyloidos viktiga differentialdiagnoser. DCM innebär i första hand förstoring av vänster kammare och nedsatt EF (figur 1) (2). Ischemi, myokardit och även långvarigt alkoholmissbruk kan leda till likadana fynd och utgör därmed differentialdiagnostiska utmaningar.

Klaffsjukdomar

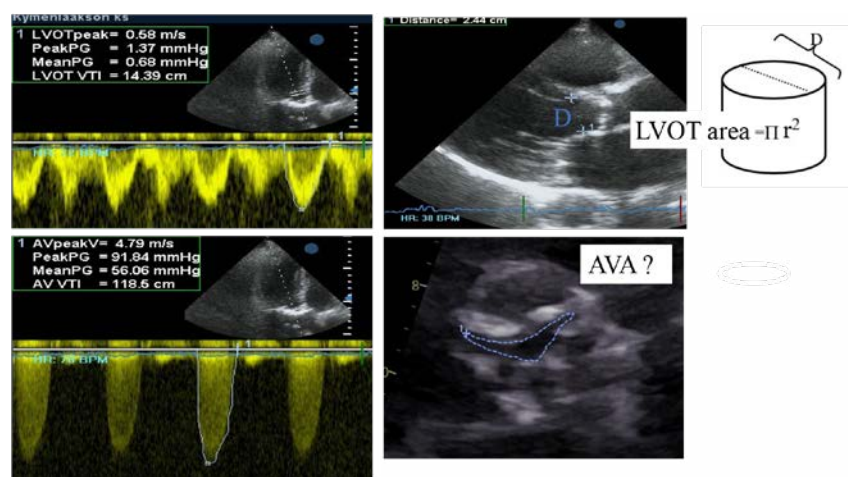
Betydande aortastenosis och mitralisinsufficiens är de vanligaste klaffelen, och förekommer hos cirka 2,5 procent av befolkningen. De vanligaste medfödda vitierna, bikuspid aortaklaff och mitralklaffprolaps, förekommer hos cirka 2 procent av befolkningen. Klaffel kan länge vara asymtomatiska och upptäcks ofta vid utredning av blåsljud. Klaffvitier kan progrediera och med tiden leda till symptom och hjärtsvikt. Med ekokardiografi följer man upp felets svårighetsgrad och hemodynamiska konsekvenser. Det viktigaste enskilda mätvärdet är EF, eftersom en försämring av EF är en indikation för operation, även hos asymtomatiska patienter. En försämring av

GLS-värdet kan tyda på sämre prognos redan i ett tidigare skede (2, 11).

Före ett klaffingrepp görs oftast en TEE-undersökning för närmare kartläggning av klaffstrukturerna. TEE är även väsentlig vid kateterbehandling av mitralisstenos och mitralisinsufficiens.

Aortastenosis

Aortastenosis uppstår oftast på grund av att klaffen förkalkas med åldern och förekommer vanligtvis hos personer över 70 år. Vid medfödd bikuspid aortaklaff kan en betydande aortastenosis utvecklas redan i yngre år. Med ekokardiografi kan man avbilda aortaklaffen, mäta tryckgradienten och räkna ut klafföppningens yta (figur 10). Om ytan är mindre än 1 kvadratcentimeter (normalt 3–4 cm²) är klaffen svårt förträngd. Då är flödes hastigheten genom den förträngda klaffen vanligtvis högre än 4 m/s (normalt 1 m/s), och tryckgradienten mellan aorta och vänster kammare förhöjd. Då kammaren måste pressa blodet genom en trång klaff, leder det till kammarhypertrofi. Vid långt gången sjukdom kan en allvarligt förträngd klaff ha låg tryckgradient, när en försvagad vänster kammare inte kan bygga upp tryck eller på grund av sin lilla volym inte



Kontinuitetsekvationen för att beräkna aortaklaffens öppningsarea (AVA):

$$AVA \times AV \text{ VTI} = LVOT \text{ area} \times LVOT \text{ VTI} \rightarrow AVA = LVOT \text{ area} \times LVOT \text{ VTI} / AV \text{ VTI}$$

Figur 10. Patient med allvarligt förträngd aortaklaff (klafföppning 0,5 cm²).

Tryckgradienten mellan vänster kammare och aorta är maximalt 92 mmHg (PeakPG) och medelgradienten 56 mmHg (MeanPG). Hastigheten i aortaostiet är 4,79 m/s (AVpeakV), och strax proximalt 0,58 m/s (LVOTpeak), det vill säga förhållandet mellan hastigheterna är gott och väl under 1/4, vilket tyder på signifikant förträngning.

Klafföppningen, (aortic valve area, AVA) mäter man med hjälp av flödesintegralerna (VTI) i vänstra kammarens utflödeskanal: (LVOT) 14,39 cm och aortaklaffen (AV) 118,5 cm samt LVOT-diametern som är 2,4 cm. Dessa variabler sätts in i den så kallade kontinuitetsekvationen, som baserar sig på att flödesvolymen i LVOT och i AV är densamma. AVA är den okända variabeln. Mätningen av AVA med kontinuitetsekvationen är oberoende av vänstra kammarens pumpfunktion.

kan pumpa tillräckligt med blod genom klafföppningen. En låg tryckgradient kan sålunda vara ett dåligt prognostiskt tecken (9).

Aortainsufficiens

Aortaklaffen läcker på grund av anatomiska fel (till exempel bikuspid klaff), men även felfria klaffar kan degenerera med åldern. En normal klaff kan bli insuffICIENT när aortarotens diameter växer såsom vid aneurysm i aortaroten, varvid seglens koaptation blir sämre. Regelbundna ekokontroller av vänstra kammarens storlek och funktion hjälper till att avgöra när en klaffoperation kan rädda vänster kammare så att den återfår sin volym och funktion. Patienten kan tåla även en svår aortainsufficiens i årtal (10).

Mitralisstenos

Medfödd mitralisstenos är sällsynt. Utvecklingen av mitralisseglen och papillarmuskulerna har inte slutförts. "Parachute valve" är ett exempel, där ekokardiografi visar att bara en papillarmuskels chordae stöder ett stort segel.

Mitralisstenos som uppstår vid reumatisk feber har blivit sällsynt i Finland. Äldre patienter som haft sjukdomen årtionden tidigare uppvisar tjocka förkalkade klaffar med nedsatt mobilitet (figur 11). I och med invandringen påträffas mitralisstenos mer än tidigare hos yngre och medelålders patienter (11).

Mitralisöppningens area kan beräknas med Hatles ekvation eller med planimetri. Klaffen är bara en del av den ekokardiografiska undersökningen. Stenosen höjer trycket i vänster förmak och det höga trycket påverkar lungkretsloppet.

Mitralisinsufficiens

Mitralisklaffen med sina stödstrukturer är komplicerad och består av papillarmuskulerna, chordae och det större främre och det mindre bakre seglet. Båda papillarmuskulerna stöder båda klaffseglen.

Vid primär (organisk) mitralisinsufficiens beror läckaget på en avvikelse eller en skada i själva klaffen eller dess stödstrukturer. Mitralisprolaps är den vanligaste orsaken och den befinner sig oftast i det posteriora klaffseglet (figur 12). Det systoliska trycket i kammaren tvingar en del av seglet mot vänster förmak, varvid det uppstår läckage. Chordae kan brista, både spontant och till följd av till exempel endokardit, vilket ofta leder till akut symtombild (10).

Vid sekundär (funktionell) mitralisinsufficiens beror läckaget på störningar i vänstra kammarens storlek och funktion. I en dilate-

rad vänster kammare leder den förändrade geometrin till att det bildas en spänning i chordae och mitralisseglen dras isär. Detta leder till ett systoliskt läckage genom den bildade glipan. Ischemisk mitralisinsufficiens uppstår när papillarmuskeln blodcirkulation är störd och även på grund av att ischemisk hjärtsjukdom förstör vänster kammare. En funktionsstörning i vänster kammare är ofta kombinerad med förstört förmak och utvidgat mitralisanulus, vilket i sin tur drar mitralisseglen isär (10).

Medfödda hjärtfel

Medfödda hjärtfel diagnostiseras oftast i barnåldern, rentav redan i fosterstadiet. Hjärtopererade barn lever numera nästan lika länge som den övriga befolkningen och behöver en livslång kardiologisk uppföljning. Lindrigare medfödda klaffel och shuntar (defekt i förmaks- eller ventrikelseptum, öppen foramen ovale) kan upptäckas först i vuxenåldern (12).

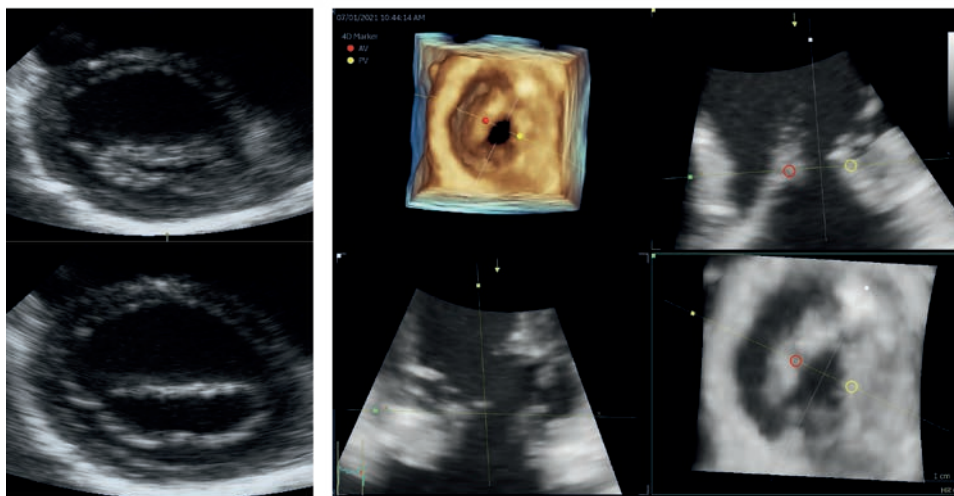
Förmaksseptumdefekt (ASD) (figur 13) och **kammarseptumdefekt (VSD)** kan påträffas hos symptomfria personer som kommer till undersökning för ett avvikande auskultationsfynd eller arytmier. En viktig del av undersökningen är att reda ut om sekundära förändringar har inträffat. Shunten kan leda till läckage i de atrioventrikulära klaffarna. Stor shunt belastar lungkretsloppet, och defekten kan behöva slutas antingen kirurgiskt eller med en transkutan protes, "device closure".

Ett **öppet foramen ovale (PFO)** belastar inte blodcirkulationen. Vitiets betydelse ligger i att det kan vara rutton för paradoxal embolisering, varvid patienten kommer till undersökning för neurologiska symtom. Foramen ovale är en ofullständig fusion av septum primum och septum secundum. Springan är oftast så liten att den upptäcks bara med hjälp av färgdoppler, bäst vid transesofageal undersökning. PFO förekommer hos cirka 25 procent av befolkningen (12).

Ekokardiografi på akuten

Ekokardiografi under pågående bröstsmärta ger värdefull information. Ischemi syns i hjärtfunktionen före EKG-förändringarna. Dissektion i aorta ascendens eller inflammatorisk vätska i perikardspalten kan vara diagnostiska fynd.

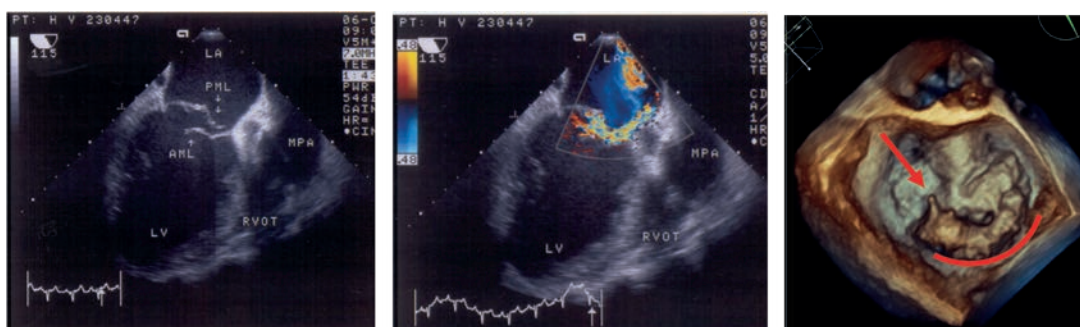
Ekokardiografi finns tillgänglig på de flesta jourpolikliniker. Högenergiskador vid trafikolyckor och fall kan både skada aorta ascendens och leda till transektion av aortaväggarna, där arcus aortae övergår i aorta descendens.



Figur 11. Mitralisstenos.

Till vänster ser vi parasternala tvärsnitt av en mitralisklaff som öppnas normalt. På den övre bilden är klaffen stängd, på den nedre bilden är klaffen öppen. Det sägs att klaffen liknar en fiskmun.

Till höger ser vi 3D-bilder av en förträngd mitralisklaff. Med 3D-tekniken kan vi få en anatomisk bild av mitralisklaffen.

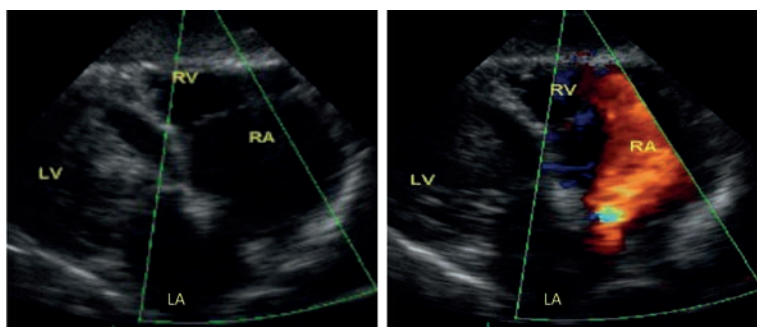


Figur 12. Transesofageala bilder av prolaps och läckage i mitralisklaffen.

På den första bilden ser vi en springa mellan mitralisklaffens bakre (PML) och främre (AML) klaffsegel under systole.

Bilden i mitten visar ett svårt läckage i mitralisklaffen (systoliskt flöde från vänstra kammaren till vänstra förmaket). Bakre seglet styr flödet anterior. Förmaken ligger närmast matstrupen och ses därför högst uppe på bilden.

Bilden till höger visar en bild av mitralisklaffen som en hjärtskirurg skulle se den vid en operation. Överst är aortaklaffen. Prolapsen i PML är utmärkt med en röd båge, den röda pilen visar en rupturerad korda.



Figur 13. Förmaksseptumdefekt och shuntflöde från vänster förmak till höger förmak.

Förmaksseptumdefekten syns som en diskontinuitet på bilden till vänster, och färgdoppler visar flödet genom defekten på bilden till höger. Bilden är tagen subkostalt.

LA = vänster förmak, RA = höger förmak, LV = vänster kammare, RV = höger kammare.

Penetrerande skador som knivhugg drabbar först höger kammare, varvid blodutgjutning i perikardiet snabbt kan leda till patientens död. Ekokardiografi kan både visa förekomsten av tamponad och vägleda dräneringen (2).

Akut hjärtsvikt kan ibland kräva kirurgisk intervention. Mekaniska infarktkomplikationer utreds snabbt med ekokardiografi. De behöver opereras inom några timmar från upptäckten. Ruptur i hjärtväggen efter en hjärtinfarkt leder till blodutgjutning i perikardiet. Kammarseptumdefekt vid hjärtinfarkt behöver inte ge upphov till det typiska blåsljudet. Papillarmuskelruptur leder till massiv mitralisinsufficiens och tryckstegring i vänster förmak. Patienter med partiell ruptur kan hinna opereras, om de hinner fram till akuten i tid (2).

Massiv mitralisinsufficiens kan sakna det typiska blåsljudet till följd av liten tryckskillnad mellan vänster kammare och förmak. Ekokardiografi kan visa orsaken till patientens cirkulatoriska kollaps. Stenos i aortaklaffen kan utvecklas utan att patienten vet om sitt hjärtfel. En kritisk förträngning kan ha så anspråkslöst blåsljud att endast ekokardiografi visar vad som är orsaken till att patienten rentav kan ha akut hjärtsvikt. Endokardit kan erodera hjärtklaffar och stödstrukturer och leda till kardiovaskulära katastrofer (2).

Ekokardiografi kan visa följderna av lungemboli. Plötslig belastning av lungkretsloppet ger upphov till förhöjt blodtryck i höger kammare, vilket i allvarliga fall kan leda till cirkulatorisk kollaps. Tromber ses inte så ofta som man skulle tro trots att höger hjärta ligger mot bröstorgsväggen och att man med TEE kan se distala delar av lungartärerna (2).

Barnpatienter

Ekokardiografi av småbarn är krävande. Patienter kan behöva sederas med exempelvis midazolam i form av näsdroppar, vilket kräver möjlighet till övervakning. Å andra sidan har ekobilderna mycket stor skärpa. Större barn och tonåringar samarbetar och kan ligga stilla,

vilket underlättar undersökningen. Det finns särskilda TEE-givare för barn (12).

Författarna tackar docent Vesa Järvinen, överläkare vid avdelningen för klinisk fysiologi på Hyvinge sjukhus, HUS, för 3D-bilderna i figurerna 3, 4, och 11.

Kaj Groundstroem

kaj.groundstroem@fimnet.fi

Minna Kylmälä

minna.kylmala@hus.fi

Inga bindningar

Referenser

1. Sydämen kaikututkimus on tärkeä diagnostinen työkalu sydänsairauksien selvittelyssä. Vesa Järvinen, Sorjo Mätzke, Minna Kylmälä, et al. Suomen Lääkärilehti. 2020;75:1051-53.
2. The EACVI Textbook of Echocardiography. 2. Edition. Eds Patrizio Lancellotti, José Luis Zamorano, Gilbert Habib, Luigi Badano. Oxford University Press 2016.
3. Kaikukardiografia ruokatorven kautta. Kaj Groundstroem. Duodecim. 1993;109(21):1897.
4. Sydämen kudospöplerkuvaus. Kaj Groundstroem, Antti Loimaala, Vesa Järvinen. Suomen Lääkärilehti. 2007;62:101-18.
5. Sydämen muovautumisen kuvantaminen. Minna Kylmälä. Duodecim. 2017;133(5):456-464.
6. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/ Industry Task Force to standardize deformation imaging. Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, et al. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2015 Jan;16(1):1-11.
7. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. Roberto M Lang, Luigi P Badano, Victor Mor-Avi, et al. J Am Soc Echo. 2015;28:1-39.
8. Recommendations for the Evaluation of Left Ventricular Diastolic Function by Echocardiography: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. Sherif F Nagueh, Otto A Smiseth, Christopher P Appleton, et al. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2016 Dec;17(12):1321-60.
9. Recommendations on the Echocardiographic Assessment of Aortic Valve Stenosis: A Focused Update from the European Association of Cardiovascular Imaging and the American Society of Echocardiography. Helmut Baumgartner, Judy Hung, Javier Bermejo, et al. J Am Soc Echo 2016;29:277-314.
10. Recommendations for the echocardiographic assessment of native valvular regurgitation: an executive summary from the European Association of Cardiovascular Imaging. Patrizio Lancellotti, Christophe Tribouilloy, Andreas Hagendorff, et al. Eur Heart J Cardiovasc Imaging. 2013;14(7):611-644.
11. 2021 ESC/EACTS Guidelines for the management of valvular heart disease. Alec Vahanian, Friedhelm Beyersdorf, Fabien Praz, et al. Eur J Cardiothorac Surg. 2021 Oct 22;60(4):727-800.
12. 2020 ESC Guidelines for the management of adult congenital heart disease. Helmut Baumgartner, Julie De Backer, Sonya V Babu-Narayan, et al. Eur. Heart J. 2021;42(6): 563-645.

Summary

Echocardiography – the main tool of the cardiologist

Echocardiography is the most versatile way to assess cardiac structures and function. Two dimensional and Doppler imaging can immediately help to estimate cardiac function and guide to pursue congenital defects, thrombi, tumours and valve function. Transthoracic scanning uses several windows to the heart but gives a lower quality image due to longer distance and interpositioned tissue. Transoesophageal echocardiography is semi-invasive but provides good quality images through the oesophageal or gastric wall. Doppler imaging helps in quantitating valvular defects.

Echocardiography training enables visual estimation of cardiac function (“eyeballing”). Computer programs give us numeric values for cardiac function, most commonly ejection fraction.