

FUNKSJONELL EKKOKARDIOGRAFI HOS BARN OG NYFØDTE

Eirik Nestaas¹ og Henrik Brun². ¹ Pediatriseksjonen, Sykehuset i Vestfold,
² Barnekardiologisk avdeling og Intervensjonssenteret, Oslo universitetssykehus

Hva er funksjonell ekkokardiografi?

Med funksjonell ekkokardiografi menes ekkokardiografi for å vurdere hemodynamikk og hjertefunksjonen som et supplement til klinisk undersøkelse og konvensjonell overvåkning, ofte som gjentatte undersøkelser utført av klinikere under intensivbehandling. Overlappende begrep omfatter blant annet *point-of-care ultrasound*, *clinician performed ultrasound*, *focused cardiac ultrasound*, *neonatologist performed echocardiography* og *targeted neonatal echocardiography*. Funksjonell ekkokardiografi er ikke en fullstendig kardiologisk undersøkelse for å diagnostisere hjertefeil. Uten tilgang til funksjonell ekkokardiografi må klinikere bruke mer indirekte metoder som blodtrykk, pulsoksimetri, kapillær fylningstid og blodprøver ved vurdering av hemodynamiske problemstillinger. Ekkokardiografiske funn må alltid tolkes i klinisk sammenheng. Studier viser at funksjonell ekkokardiografi endrer intensivbehandling hos nyfødte, barn og voksne, for eksempel ved tidligere påvisning av sjokk. Ved kompensert sjokk distribueres blodet til vitale organer gjennom selektiv vasokonstriksjon og -dilatasjon. Siden perifer vaskulær motstand ofte øker, vil blodtrykket en stund være normalt selv ved redusert systemisk blodstrøm. Funksjonell ekkokardiografi kan være en hjelp til diagnostikk av sjokk allerede i kompensert fase, mens blodtrykksfall, multiorgan-dysfunksjon og utfall i kliniske og biokjemiske markører kan komme sent.

Særlig hos nyfødte er strukturell hjertefeil en aktuell differensialdiagnose ved påvirket hemodynamikk. Det er i gitte kliniske situasjoner svært viktig å avklare om strukturell hjertefeil foreligger. De fleste internasjonale retningslinjer påpeker at

det hos nyfødte må avklares om hjertefeil foreligger ved at første ekkokardiografi gjøres av operatør med trening i å gjenkjenne normal anatomi. Ved mistanke om hjertefeil, både i nyfødtperioden og senere, må videre diagnostikk og behandling skje i nært samarbeid med barnekardiolog.

Hensikt med artikkelen er å gi en oversikt over aktuelle metoder og anvendelse av funksjonell ekkokardiografi, primært rettet mot klinikere med interesse for å bruke ekkokardiografi under intensivbehandling av barn og nyfødte. Stoffet forutsetter en viss kjennskap til ekkokardiografi. Flere av de avanserte metodene som omtales krever kunnskap og erfaring før de kan brukes klinisk, mens andre metoder er enklere å beherske. Tabellen viser noen problemstillinger der funksjonell ekkokardiografi kan være aktuelt.

Stikkordsmessig om målemetodene

Hjertefunksjon et samspill mellom last (belastning, dvs. *preload* og *afterload*) og kontraktilitet, som alle er dynamiske variable. Ingen ekkokardiografi-indeks kan måle kontraktilitet i seg selv. Alle påvirkes av last. Generelt påvirker last blodstrømsmåling og kavitetsmål mer enn målinger av bevegelse i selve muskelveggene, og av målinger i muskelveggen påvirkes distanserelaterte mål mer enn hastighetsrelaterte mål. For eksempel påvirker last atrioventrikulærklaffe (AV)-planet longitudinelle ekskursjon (forflytning) mer enn klaffplanet hastigheter. Regionale mål er nært knyttet til regionale funksjonsforskjeller. Disse er ofte forårsaket av koronarkarsykdom og andre kardiologiske problemstillinger. Vurdering av regionale funksjonsforskjeller er mindre aktuelt ved funksjonell ekkokar-

diografi og omtales derfor ikke her. For noen målemetoder er det helt avgjørende å stille ekkokardiografiapparatet inn riktig og helst bruke samme apparat ved longitudinell oppfølging. Høy hjertefrekvens hos barn, og særlig hos nyfødte, krever høyere tidsoppløsning enn målinger hos voksne.

Konvensjonelle mål

Blodstrøm (liter per minutt) kan beregnes ut fra hastighet-tid-integral og tverrsnittsarealet der blodet passerer, for aortablodstrøm hos barn og nyfødte oftest i aortaklaffen og for pulmonalblodstrøm i pulmonalklaffen. Konvensjonelt beregnes arealet fra diameter av karet målt på gråtonebildet (eller ved M-mode). Feil diametermål gir arealfeil i annen potens og påvirker dermed målingene mye. Diameter av aortaklaffen måles fra parasternal langakse og pulmonalklaffen i parasternal kortakse. Måling langs etter ultralydbølgene er mer nøyaktig enn måling på tvers, og fundamental avbildning er mer nøyaktig enn dem som er basert på 2. harmonisk svingninger. Det er viktig å måle dimensjon og hastighet på samme sted og å unngå måling umiddelbart distalt for trange partier. Blodhastighet måles ved pulset doppler og må måles i ultralydstråleretningen (husk også vinkelfeil ut av ultralyd-planet). Inntil 15 grader vinkelfeil er akseptabelt, det gir < 3,4 % falsk lav hastighetsmåling. Aortahastighet måles med pulset doppler fra apikal 5-kammerbilde eller apikalt langaksebilde og pulmonal-hastighet fra parasternalt kortaksebilde. Juster apparatet («compress» og «gain») så kurvene blir jevne og tydelige. Måling over flere sykluser reduserer målefeil. Ved forvrenging (aliasing) av hastighetene kan 0-linjen justeres, hastighetsskala økes, sendefrekvensen reduseres eller man kan måle på et punkt nærmere proben.

Trykkgradienter kan beregnes fra blodhastighet ved forenklet Bernoulli-likning, maksimal trykkforskjell (mm Hg) = $4 \times$ maksimal hastighet² (m/s). I strukturelt normale hjerter er det mest aktuelt å måle insuffisienssignalet i trikuspidal-klaffen, som uttrykk for systolisk trykk i pulmonalarterien. Det er viktig å bare måle på komplette hastighetskurver der man er sikker på at topphastigheten er med. Insuffisienshastigheten i pulmonalklaffen kan gi

estimat for diastolisk lungearterietrykk, men dette er mindre brukt. Som for alle dopplermål gjelder vinkelfeil også for disse målene. Noen legger til 5 mm Hg på målingene som antatt trykk i høyre atrium.

De mest aktuelle kavitetsbaserte funksjonsmålene er forkortningsfraksjon (FS) og ejectionsfraksjon (EF) av venstre ventrikkel. FS er prosentvis reduksjon i diameter av venstre ventrikkel gjennom systolen, oftest målt fra parasternal kortakse i gråtonebilde eller M-mode, vinkelrett på veggene ved overgangen mellom chordae tendineae og mitral-klaffen. Gråtonebilde muliggjør måling på tvers av ultralydstrålene mens M-mode målinger har bedre tidsoppløsning. FS er mye brukt, men er et indirekte mål på tømning av venstre ventrikkel. Mange ultralydapparatet beregner EF fra FS. Beregningen bygger på forutsetninger som sjeldent er oppfylt, og det frarådes å rapportere EF fra FS. Mer avansert og presist kavitetsmål er Simpsons biplan-EF, som måles ved å markere venstre ventrikkels kavitet i endesystole og -diastole fra apikalt 2-kammer- og 4-kammerbilde. Ved markeringen skal papillemuskulatur tilhøre kaviteten. Det finnes flere kavitetsmål for høyre ventrikkels funksjon, men alle har betydelige svakheter på grunn av høyre ventrikkels beliggenhet og komplekse form. Systolisk endring av areal av høyre ventrikkel i 4-kammerbilde har fått noe økende plass i klinikken, men det er ingen gullstandard blant de konvensjonelle målene. I praksis innebærer en konvensjonell vurdering derfor oftest kun en kvalitativ visuell vurdering («eye-balling») av høyre ventrikkel fra apikal og parasternal posisjon. Denne blir ofte supplert med et nyere mål på langaksebevegelse i AV-klaffep Janet, *tricuspid annular plane systolic excursion* (TAPSE, se under).

Nye og avanserte mål

Av nye og avanserte mål kan man skille mellom nye indekser basert på konvensjonelle ultralydmetoder og indekser basert på nyere ultralydmetoder. Vena cava superior-blodstrøm hos premature måler blodstrøm tilbake fra overkroppen, hvor en stor del antas å være cerebral blodstrøm. De føtale shuntene påvirker ikke målingene. Lav blodstrøm første levedøgn er hos premature assosiert med intraventrikulær blødning.

Konvensjonelt beregnes tverrsnittsarealet av venen fra diameter på gråtonebilde eller M-mode fra parasternal mellomakse. Diameter varierer gjennom hjertesykklus, og som regel brukes gjennomsnitt av største og minste diameter, gjentatt over 3-5 slag. Tverrsnittet av venen er ikke sirkulært, og nylig er det vist at å måle tverrsnittsarealet av venen direkte på 2D-bildet gir bedre reproduserbarhet og bedre samsvar med blodstrømsmålinger med magnet resonans. Hastighet-tid-integralet måles med pulset doppler fra subkostal posisjon over minst 10 slag. I atriesystolen kan blodstrømmen reverseres, og ved tydelig reversering trekkes hastighetsintegralet for denne reverserte blodstrømmen fra. Siden venøs blodhastighet er lav, bør hastighetsfilteret («low velocity reject») skrues ned for å få med lave hastigheter.

«Forkortningshastighet» (mean velocity of circumferential fiber shortening, mVCFs) ble lansert som mål på venstre ventrikkels kontraktilitet, men er lite brukt i dag. mVCFs beregnes ved å dividere FS (se over) på tiden mellom lukking og åpning av mitralklaffen, og mVCFs og FS har derfor mange av de samme begrensingene som funksjonsmål.

Fraksjonert endring i høyre ventrikkels areal (Fractional Area Change, FAC) er prosentvis reduksjon av høyre ventrikkels areal i systolen fra apikalt 4-kammerbildet. Målet er noe brukt, vesentlig hos større barn. Helt nylig er høyre ventrikkel global FAC lansert hos premature, som gjennomsnitt av høyre ventrikkel FAC i apikalt 4-kammer og et apikalt modifisert rotert snitt som viser høyre ventrikkel sammen med sitt inn- og utløp.

Vena cava inferior nær inngangen til høyre atrium endrer form i løpet av hjertesykklus og påvirkes også av respirasjon. Ved høyt trykk i høyre atrium («høyt sentralvenøst trykk») er det mindre endring av form hos voksne, men studier hos nyfødte og små barn har i mindre grad kunnet vise det samme.

Blodstrøm over AV-klaffene har to hastighetstopper, E (early)- og A (atrial)-topp. Normalt er E-hastighet høyere enn A-hastighet etter nyfødtp perioden. Mange faktorer påvirker E- og A-bølgen. Høyere A- enn E-hastighet kan indikere at en mindre

del av diastolisk blodstrøm skjer tidlig i diastole og er blitt foreslått som en indeks for redusert (diastolisk) funksjon. Imidlertid kan høyere A- enn E -hastighet også sees hos friske barn. Videre er indeksen mindre anvendbar i nyfødtp perioden fordi E- og A-bølgen ofte fusjonerer på grunn av høy hjertefrekvens.

M-mode-måling fra apikal posisjon kan måle forflytningen av AV-klaffeplanet mot apeks i systolen, som uttrykk for longitudinell funksjon. TAPSE er forflytningen av trikuspidal-klaffens laterale feste og brukes til å vurdere høyre ventrikkels funksjon. Tilsvarende er *mitral annular excursion* (MAE) og *mitral annular plane systolic excursion* (MAPSE) to navn på forflytningen på venstre side. I noen tilfeller beregnes MAE/ MAPSE som snitt av måling fra septalt og lateralt feste av mitralklaffen, i andre tilfeller bare fra det laterale.

Tidsindekser

Det finnes indekser basert på akselerasjon og deselerasjon av blodhastigheter over klaffer. Disse er lite brukt hos barn og omtales ikke her.

Hjertesykklus kan deles i fire tidsfaser ut fra blodstrøm over AV-klaffene og arterieklaffene, separat på høyre og venstre side: 1) isovolemisk kontraksjonsfase er tiden fra blodstrøm over AV-klaffen opphører til blodstrøm over arterieklaffen starter, 2) ejeksjonsfasen er tiden med blodstrøm over arterieklaffen, 3) isovolemisk relaksasjonsfase er tiden fra opphør av blodstrøm over arterieklaffen til start av blodstrøm over AV-klaffen og 4) fyllingsfasen er tiden med blodstrøm over AV-klaffen. *Myocardial performance index* (MPI, Tei-indeks) er summen av de isovolemiske fasene dividert på ejeksjonsfasen, altså tid 1) og 3) dividert på tid 2, og ble introdusert som en last-uavhengig indeks for kontraktilitet i venstre ventrikkel. Eksperimentelle studier har vist at MPI påvirkes betydelig av last og har hatt vansker med å vise at MPI endres med endret kontraktilitet. Dens rolle i vurdering av sirkulasjon hos nyfødte og barn er uavklart. MPI kan også måles med vevsdoppler (se under).

Nyere metoder

Det er i hovedsak to nyere metoder som begge måler bevegelser innad i myokardveggen, vevsdoppler og mønstergjenkjenning (*speckle tracking 2D-strain*). Vevsdoppler måler hastighet i myokard relativt til proben med høy tidsopløsning. Mest brukt er apikale bilder. Det er to modaliteter, pulset vevsdoppler og farge-vevdoppler. De fleste vevsdoppler-indeksene kan måles med begge teknikker, men endringer i myokardveggen (deformasjonsanalyse, med indeksene *strain* og *strain rate*) og forflytning av et punkt i veggen (*displacement*) krever farge-vevdoppler. Hastigheter måles høyere med pulset vevsdoppler enn med farge-vevdoppler, fordi man med pulset vevsdoppler måler maksimal hastighet fra området og med farge-vevdoppler måler gjennomsnittshastighet. Som for blodhastigheter er det viktig å unngå vinkelfeil.

Med vevsdoppler kan man måle hastighetene som AV-klaffeplanet beveger seg med gjennom hjertesykklus. Hastigheter mot proben er per definisjon positive og fra proben negative. S' («S merket») er maksimal (positiv) hastighet i ejeksjonsfasen. Det er et relativt last-uavhengig mål for systolisk hjertefunksjon og er sammen med *strain rate* kanskje det målet som er nærmest å måle kontraktilitet. E' og A' er tidlig og sen (negativ) topp i fylningsfasen. Mange faktorer påvirker E' og A' . Som for blodhastigheter fusjonerer ofte vevsdoppler E' og A' hos nyfødte. Venstresidig E/E' (blodstrøm E /vevdoppler E' , «E over E merket») brukes som mål på diastolisk funksjon hos voksne, der E' oftest måles med pulset vevsdoppler. Verdien av dette målet hos barn er uavklart. Med farge-vevdoppler av AV-planet kan man måle forflytninger (*displacement*), som vil være et tilsvarende funksjonsmål som TAPSE og MAE/MAPSE.

Høyre- og venstresidig MPI kan måles med vevsdoppler av høyre- og venstre laterale feste av AV-klaffene. I AV-klaffeplanet er det en positiv hastighetstopp i ejeksjonsfasen og to negative topper i fylningsfasen, og i hver av de isovolemiske fasene en positiv og en negativ topp, med de positive toppene nærmest fylningsfasen.

Farge-vevdoppler kan også måle endringer i myokardveggen (deformasjons-

analyse med indeksene *strain* og *strain rate*). *Strain* (=tøyning) måler relativ endring i lengden av en del av muskelveggen, med endediastolisk lengde som utgangspunkt. *Strain rate* er (endring i) *strain* per tidsenhet. *Strain* og *strain rate* kan også måles med *speckle tracking 2D-strain*. *Speckle tracking* er mindre følsom for vinkelfeil. Indekser basert på *strain* og *strain rate* kan måles i tre plan: longitudinelt, sirkumferensielt og radielt. Mest brukt er målinger i lengderetningen fra apeks (longitudinell deformasjon). *Strain* og *strain rate* er mye brukt i forskning både hos nyfødte, barn og voksne. Systolisk *strain rate* er sammen med systolisk vevsdopplerhastighet (S') kanskje det målet som er nærmest å måle kontraktilitet.

Aktuelle problemstillinger

En funksjonell ekkokardiografiundersøkelse skal ha et formål/predefinert problemstilling. Og man må «alltid» undersøke flere faktorer. Aktuelle faktorer vil oftest være 1) systemisk blodstrøm, 2) ventrikkelfunksjon, 3) pulmonaltrykk og 4) perikardeffusjon. I tillegg vil shunting på atrienivå og vurdering av ductus arteriosus være aktuelt hos nyfødte og også vurdering av kateterposisjon. Det er en forutsetning at man avklarer om det foreligger hjertefeil og normal klaffefunksjon, og vurderinger hos pasienter med avvik her må gjøres i nært samarbeid med barnekardiologisk kompetanse.

Vurdering av intravasalt væskevolum og systemisk blodstrøm.

Problemstillinger knyttet til vurdering av intravasalt væskevolum og behov for væsketerapi forekommer hyppig. Endringer i diameter eller form av vena cava inferior kan ikke brukes som indeks for intravaskulær hypovolemi hos barn og nyfødte. Per i dag er det ingen etablert gullstandard for å påvise intravasal hypovolemi og behov for væsketerapi med ekkokardiografi. Funksjonell ekkokardiografi kan brukes til å følge effekten av terapeutiske tiltak, for eksempel endringer i blodstrøm og dimensjonsmål etter væskebolus. En vanlig problemstilling vil være vurdering av systemisk blodstrøm. Ved lukkede føtale shunter beregnes dette enklest som strøm over aortaklaffen eller

pulmonalklaffen. Ved åpne fostershunter blir vurderingen vanskeligere. Man må da vurdere mengde og retning av blod som renner gjennom fostershuntene. Eksempelvis vil strøm i aortaklaffen være systemisk blodstrøm + strøm over ductus arteriosus hvis blodet renner fra venstre til høyre gjennom ductus. Blodstrøm over pulmonalklaffen vil være systemstrøm (systemvenøs retur) + strøm over foramen ovale hvis blodstrøm går fra venstre til høyre atrium. Som regel er blodstrøm i ductus arteriosus større enn i foramen ovale, og begge går normalt fra venstre til høyre side. Hvis shuntene er lukket eller viser venstre-høyre-strøm, er systemisk blodstrøm akseptabel i de aller fleste tilfeller hos premature ved pulmonalstrømhastighet $> 0,45$ m/s. For å komme rundt problemet med føtale shunter har blodstrøm i vena cava superior blitt foreslått som en indeks for cerebral/systemisk blodstrøm hos premature. Normal systemisk blodstrøm i nyfødtp perioden er 150-300 ml/kg/min. Etter nyfødtp perioden er normal systemisk blodstrøm 3,5-5,5 l/min/kroppsoverflate (m^2) og vurdering av shunter mindre relevant ved funksjonell ekkokardiografi. Normalverdier for blodstrøm i vena cava superior angis ofte til 40-150 ml/kg/min. Det store spennet her gjenspeiler den betydelige måleusikkerheten ved metoden.

Ventrikkelfunksjon (høyre og venstre)

På tross av alle sine svakheter er FS fortsatt det mest brukte mål på (systolisk) venstre ventrikkelfunksjon hos barn og nyfødte. Normalverdier er relativt uavhengig av vekt og alder og angis ofte 28-45 %. FS er i stor grad erstattet av Simpsons biplan-EF hos voksne, og Simpsons biplan-EF brukes i økende grad hos barn og også noe hos nyfødte. Normalverdier er relativt uavhengig av vekt og alder, og verdier $> 50-55$ % ansees ofte som normale. For høyre ventrikel er det ingen veletablerte kavitetsmål for hjertefunksjonen. Mange bruker derfor visuell vurdering av høyresidig hjertefunksjon som et kvalitativt funksjonsmål. Nyere indekser som TAPSE/MAE/MAPSE, klaffepan hastigheter, klaffepanforflytning (displacement). FAC og deformasjonsmål er mer lovende kvantitative mål (se nedenfor).

Tidsindeksen MPI (Tei-indeks) ble introdusert som en last-uavhengig indeks for hjertefunksjon der lave verdier viser bedre funksjon enn høye verdier. MPI øker med økende *afterload* og avtagende *preload*. Senere eksperimentelle studier har hatt vansker med å vise at MPI endres med endret kontraktilitet. Publiserte verdier varierer, typisk MPI hos premature er 0,35-0,45, hos terminfødte 0,3-0,4, hos barn 0,2-0,3 og hos voksne 0,35-0,45.

TAPSE og MAE/MAPSE kan brukes som hhv. høyre- og venstresidig funksjonsmål. Høye tall representerer bedre funksjon. Målingene påvirkes av last. Normalverdier øker med økt (hjerne)størrelse.

Med vevsdoppler vil måling av forflytning (displacement) av AV-klaffepanet være et tilsvarende mål som TAPSE og MAE/MAPSE. Høyre- og venstresidig systolisk topphastighet i AV-planet (S') er hjertefunksjonsmål som er mindre påvirket av last og mer speiler endringer i kontraktilitet. Normalverdier øker med økt (hjerne)størrelse.

Longitudinell *strain* og systolisk *strain rate* er negativ fordi hjerteveggen forkortes i systolen, mens diastoliske *strain rate*-verdier er positive fordi hjerteveggen da strekkes. *Strain* har en (negativ) toppverdi rundt endesystole. *Strain rate* har en toppverdi i systole (analogt til S' -hastighet med vevsdoppler) og to toppe i diastole (analogt til E' - og A' -hastigheter med vevsdoppler). Generelt uttrykker høyere absoluttverdier bedre ventrikkelfunksjon, spesielt for *strain* og for systolisk *strain rate*. *Strain* påvirkes mer av last enn (systolisk) *strain rate*. Systolisk *strain rate* er mer brukt enn diastolisk *strain rate*. Longitudinell *strain* i venstre ventrikel måles hos voksne i tre apikale projeksjoner (4-kammer, 2-kammer og langakse), men hos nyfødte og barn er apikalt 4-kammerprojeksjon mer brukt enn de to andre. Hver hjertevegg deles oftest i tre segmenter (apikal, midtvegg og basalt), og deformasjonen måles i hvert segment. Segmentinndelingen er mer relevant ved kardiologiske problemstillinger enn ved funksjonell vurdering under intensivbehandling.

Forholdet mellom blodstrøm E- og A-hastighet kan si noe om hjertets funksjon i fylningsfasen. Siden forhold i diastolen påvirkes av systolen vil E- og A-hastighe-

tene påvirkes også av systolisk funksjon. Normalt er E-hastigheten høyere enn A, og hvis A er høyere enn E, kan dette indikere redusert diastolisk funksjon. Målet er lite brukt hos nyfødte og barn, også fordi høyere A- enn E-hastighet sees hos friske nyfødte og barn. E/E' som indeks for diastolisk funksjon er brukt hos voksne men lite hos barn og nyfødte. Lav E/E' indikerer bedre diastolisk funksjon enn en høy.

Pulmonaltrykk (trykk i høyre kretsløp)

Vurdering av trykkforhold i høyre hjertedel og pulmonalkretsløpet er svært aktuelt under intensivbehandling, både isolert og relativt til venstresidig trykk. I parasternal kortakse har ventrikkelseptum en konveks form med bukning inn i høyre ventrikel, men ved økende trykklikevekt blir ventrikkelseptum mer flatt. Flatt septum i diastolen indikerer høyt høyresidig trykk i fylningsfasen og flatt septum i systolen høyt trykk i ejeksjonsfasen. Høy hastighet på insuffisienssignalet i trikuspidalklaffen indikerer stor systolisk trykkforskjell mellom atrium og ventrikel på høyre side, og trykkforskjellen kan estimeres fra topphastigheten. Ved uhindret passasje gjennom pulmonalklaffen indikerer dette systolisk pulmonalarterietrykk (noen legger til 5 mm Hg som antatt trykk i høyre atrium, se over). Ved åpne shunter vil hastighet av blodstrøm over shuntene indikere trykkforskjell mellom høyre og venstre kretsløp. På ventrikel- og arterienivå brukes systolisk trykkforskjell og på atrienivå middelgradient som spores («traces») gjennom minst en respirasjonssyklus.

Perikardvæske

Væske i perikardhulen kan hemme hjertets fylling gjennom økt ekstrakardialt trykk, som regel først i høyre hjertedel. Volumet av ekstrakardial væske innvirker på trykket, og ved raske endringer endres trykket mer enn ved langsomme endringer. Respirasjon påvirker trykkforholdene. Variasjon i mitral E-hastighet og i aortaklaffehastighet > 30 % eller variasjon > 50 % i E-hastighet over trikuspidal-klaffen mellom inspirasjon og ekspirasjon indikerer at høyre ventrikels fylling kan være så påvirket at tapping

kan være aktuelt. Ved stigende trykk sees ekstern kompresjon først av (høyre) atrium og høyre ventrikel.

Kateterposisjon

Det er sentra som bruker ekkokardiografi til å vurdere plasseringen av katetre i sentrale kar. Dette forutsetter sikker identifisering av kateterenden. Funn av katetespiss i samme posisjon fra mer enn en projeksjon øker sannsynligheten for korrekt lokalisasjon. Katetre som kommer via vena cava superior vurderes best i høyrevippet parasternal langakse. Injeksjon av agitert saltvann kan hjelpe med å identifisere kateterspissen.

Noen spesielle nyfødtemedisinske problemstillinger

Persisterende ductus arteriosus og foramen ovale

Det er mer komplisert å vurdere systemisk blodstrøm ved persisterende føtale shunter. Indikasjonsstilling for lukking av ductus arteriosus i nyfødtp perioden er omstridt. Ved vurdering spiller både størrelse og retning på blodstrøm inn, og ikke bare hastighet, siden høy hastighet indikerer trykkrestriktivitet, mens lav hastighet kan indikere trykkutjevning. Det er også viktig å ta med blodstrømhastighet og -retning i nærliggende arterier og i cerebrale arterier i vurderingen. Reversert blodstrøm i cerebrale arterier og i bukaorta og kontinuerlig diastolisk blodstrøm i pulmonalarterier kan være tegn på stort shuntvolum. Etter ligering kan systemisk blodstrøm falle («post PDA ligation syndrome»), og mange anbefaler medikamentell intervensjon ved systemisk blodstrøm < 200 ml/kg/min.

Perinatalt hypoksisk iskemisk insult

Perinatalt hypoksisk iskemisk insult kan gi redusert hjertefunksjon de første dager. Persisterende høy lungekarmotstand etter fødsel er en relativ kontraindikasjon mot kjølebehandling, og pulmonal hypertensjon kan forverres under behandlingen. Funksjonell ekkokardiografi kan brukes til å vurdere hemodynamikk under kjølebehandling og særlig omstillingen under oppvarming til normal temperatur. Hvorvidt

Tabell med utvalgte problemstillinger der funksjonell ekkokardiografi kan være aktuelt.

Klinisk mistanke/ problemstilling	Ekkokardiografiske funn	Konvensjonelle mål	Nye og avanserte mål	Merknader
Generelle				
Systemisk blodstrøm Behov for væskebolus?	Ingen gode indekser for å direkte diagnostisere behov for væskebolus. Funksjonell ekkokardiografi kan brukes for å følge effekt av behandling.	FS. Blodstrøm i pulmonal- og/eller aortaklaffen. Hos nyfødte må føtale shunter vurderes (se lenger ned i tabellen).	EF, dimensjonsmål av høyre- og venstre ventrikkel, «eyeballing» eller FAC av høyre ventrikkel. Ev. distensjon i vena cava inferior, S', E', A', strain og strain rate. MAPSE/MAE og TAPSE. Displacement. MPI. Hos nyfødte endringer blodstrøm i VCS.	Kan følge effekt av intervensjoner. Endringer i blodstrøms- og funksjonsmålinger etter intervensjon.
Sjokk?	Blodstrøm i pulmonal- og systemkretsløpet. Ventrikkelfunksjon. Trykkforhold i pulmonalkretsløpet.	Som for systemisk blodstrøm (over). I tillegg høyresidig trykk (TVR, PVR) og perikardvæske (respirasjonsavhengig variasjon av blodhastigheter, se tekst).	Som for systemisk blodstrøm (over).	Foreligger det normal sirkulasjon, hyperdynamisk sirkulasjon, kompensert sjokk, dekompensert sjokk? Vurder blodstrømmålinger opp mot høyresidig trykkmålinger og systemisk blodtrykk. Vurdering av behov for vasoaktive medikamenter og hvilke(n) type, og effekt av behandling.
Sjokk på grunn av (føtale) shunter?	Stor blodstrøm over føtale shunter og konsekvenser for pulmonal- og systemsirkulasjon. Ventrikkelfunksjon. Trykkforhold i pulmonalkretsløpet.	Som for sjokk (se over). I tillegg ductus-blodstrøm og PFO- blodstrøm (retning og hastighet). Perikardvæske?	Som for sjokk (se over). I tillegg dimensjonsmål og blodstrømretning og -hastighet over shuntene. For ductus arteriosus-strøm vurdering av aortastrøm før og etter avgang av ductus. Blodstrøm i lungearterier og cerebrale arterier.	
Sjokk på grunn av strukturell hjertefeil?	Stor blodstrøm over intra- eller ekstrakardiale shunter og konsekvenser for pulmonal- og systemsirkulasjon. Ventrikkelfunksjon. Trykkforhold i pulmonalkretsløpet.	Som for sjokk og sjokk på grunn av føtale shunter (se over). Konferer tidlig med barnekardiolog	Avhengig av type feil. Mål maksimalgradient for feil med shunting fra ventrikkel og arterier (høyt trykk). Mål gjennomsnittsgradient for feil med shunting på vene-/atriesiden (lavt trykk). Ellers målinger som ved sjokk på grunn av (føtale) shunter (se over).	
Ventrikkelfunksjon (høyre og venstre) Myokardsvikt? Immaturitet? Asfyksi/hypoksi? Metabolske sykdommer/ kardiomyopati? Hjertefeil? Pulmonal hypertensjon? Myokarditt?	Ventrikkelfunksjon. Bakenforliggende årsaker til redusert funksjon, f.eks. perikardvæske, høyt trykk i lungekarene (høy vaskulær motstand).	Som ved sjokk (større barn) og sjokk på grunn av føtale shunter (nyfødte).	Som ved sjokk (større barn) og sjokk på grunn av føtale shunter (nyfødte).	

Pulmonaltrykk Trykk og blodstrøm i høyre kretsløp? Systemisk blodstrøm?	Høyre- og venstresidig pre- og afterload. Hjertefeil? Ductus-blodstrøm og PFO-blodstrøm hos nyfødte. Ventrikkelfunksjon.	FS. Blodstrøm i pulmonal- og/eller aortaklaffen. Høyresidig trykk (TVR, PVR). Avflatet ventrikkelseptum?	Som ved sjokk på grunn av (føtale) shunter.	Trykk i høyre kretsløp. Høyre ventrikkelsvikt pga. høy <i>afterload</i> ? Venstre ventrikkel tilstrekkelig <i>preload</i> ? Indikasjon for vasoaktive medikamenter (NO, sildenafil o.a.)? Viktig å avklare om det foreligger hjertefeil, spesielt hos nyfødte. Mange ekko-funn er like ved pulmonal hypertensjon og kritiske hjertefeil med ductus-avhengig systemsirkulasjon.
Perikardvæske	Perikardvæske/tamponade? Perforasjon fra katetre som årsak, sepsis. Metaboliske sykdommer/kardiomyopati.	Væske i perikard? Kollaps av atrier og/eller høyre ventrikkel? Variasjon i av tidlig-diastolisk hastighet over AV-klaffene med respirasjon? Variasjon av (systolisk) hastighet over aortaklaffen med respirasjon?	Som ved sjokk (større barn) og sjokk på grunn av føtale shunter (nyfødte).	Manglende diastolisk fylling av hjertet pga. trykk/oppfylling i perikardhulen?
Kateterposisjon	Posisjon? Perikardvæske? Tegn til perforasjon?	Korrekt plassert kateter er som regel lettere å lokalisere enn feilplasserte. Gråtonebilder (tegn til perforasjon, perikardvæske eller blødning). Se også vurdering av perikardvæske.	Som ved sjokk (større barn) og sjokk på grunn av føtale shunter (nyfødte).	
Noen spesielle nyfødtdedisinske problemstillinger				
Persisterende ductus arteriosus og foramen ovale Er ductus arteriosus åpen? Stor blodstrøm over ductus arteriosus? Systemisk hypoperfusjon? Hjertesvikt etter ductus-ligering?	Ductus-strøm, størrelse og retning, og effekt på pulmonal- og systemsirkulasjon, f. eks. systemisk hypoperfusjon grunnet diastolisk venstre-høyre blodstrøm.	Som for sjokk på grunn av føtale shunter (se over).	Som for sjokk på grunn av føtale shunter (se over).	Ductus-blodstrøm med høy hastighet indikerer restriktivitet og som regel liten blodstrøm. Stor shunting gir høy blodstrøm pulmonalt inkludert blodstrøm i diastolen, tydelige strøm i lungevener og stor strøm over aortaklaffen, ev. med systemisk hypoperfusjon og/eller stor diastolisk ductal venstre-høyre-strøm (reversert aortastrøm distalt for ductus). Som oftest tilstrekkelig systemstrøm ved > 0,45 m/s maksimalhastighet i pulmonalklaffen hvis venstre-høyre-blodstrøm i ductus hos premature. Post-ligeringssyndrom er lav systemisk blodstrøm etter ductus-lukking, pga. akutte endringer i venstre ventrikkels <i>pre- og afterload</i> som gir venstre ventrikkelsvikt.

Perinatal hypoksisk iskemisk insult Myokardsvikt sekundært til asfyksi? Pulmonal hypertensjon? Behov for vasoaktive medikamenter?	Ventrikkelfunksjon. Pulmonal hypertensjon. System-blodstrøm.	Som for sjokk på grunn av føtale shunter (se over).	Som for sjokk på grunn av føtale shunter (se over).	
Persisterende pulmonal hypertensjon (persisterende høy lungekarmotstand) Alvorlighetsgrad? Systemisk hypoperfusjon?	Minuttvolum? Blodstrøm i ductus (retning og mengde). Strukturell hjertefeil?	Som for sjokk på grunn av føtale shunter (se over). Avflatet ventrikkelseptum?	Som for sjokk på grunn av føtale shunter (se over).	Viktig å avklare om det foreligger hjertefeil. Mange ekkokardiografifunn er like ved pulmonal hypertensjon og kritiske hjertefeil med ductus-avhengig systemsirkulasjon. Høyretil-venstre-strøm over PFO og/eller ductus kan gi pre- og post-ductal hypoksemi/cyanose.
<p><i>A': «A merket», sen-diastolisk (atrialsystolisk) hastighetstopp i atrioventrikulærplanet med vevsdoppler. Displacement: forflytning av atrioventrikulærplanet med vevsdoppler. E': «E merket», tidlig-diastolisk (early) hastighetstopp i atrioventrikulærplanet med vevsdoppler. EF: Ejeksjonsfraksjon. FAC: Fractional area change. FS: Forkortningsfraksjon. MAE: Mitral annular plane excursion. MAPSE: Mitral annular plane systolic excursion. MPI: Myocardial performance index, kalles også Tei-indeks. PFO: Persisterende foramen ovale. PVR: Pulmonary valve regurgitation. Hastighet av insuffisiens i pulmonalklaffen i diastolen. S': «S merket», systolisk hastighetstopp i atrioventrikulærplanet med vevsdoppler. Strain rate: (Endring i) strain per tidsenhet. Strain: Tøyning/deformasjon. Prosentvis endring i lengde av en del av hjertemuskelene i hjertesykklus, måles i %. TAPSE: Tricuspid annular plane systolic excursion. TVR: Tricuspid valve regurgitation. Hastighet av insuffisiens i trikuspidalklaffen i systolen. VCS: Vena cava superior. Synonymt med SVC (superior vena cava)</i></p>				

ekkokardiografi bør gjøres hos alle som kjøles, er ikke avklart, men de fleste sentra bruker ekkokardiografi der det er klinisk eller biokjemiske tegn på hjerteskaade. Nyere funksjonsmål som klaffeplanhastigheter og deformasjonsmål viser den reduserte hjertefunksjon etter perinatal hypoksisk iskemisk insult bedre enn forkortningsfraksjon.

Persisterende pulmonal hypertensjon hos nyfødte (persisterende høy lungekarmotstand)

Det kan være svært vanskelig å skille mellom persisterende pulmonal hypertensjon hos nyfødt (egentlig persisterende høy lungekarmotstand) og hjertefeil med ductus-avhengig systemsirkulasjon, selv med ekkokardiografi. Selv om tilstandene kan ha mange like ekkokardiografifunn, er behandlingen svært forskjellig, og behandling som bedrer den ene tilstanden, kan forverre den andre. Ved mistenkt persisterende pulmonal hypertensjon hos nyfødte kan det derfor være helt avgjørende å avklare om det foreligger hjertefeil.

Referanser

1. de Boode WP, van der Lee R, Eriksen BH, et al. The role of Neonatologist Performed Echocardiography in the assessment and management of neonatal shock. *Pediatr Res* 2018; 84 (Suppl 1): 57-67.
2. Nestaas E, Schubert U, de Boode WP, et al. Tissue Doppler velocity imaging and event timings in neonates: a guide to image acquisition, measurement, interpretation, and reference values. *Pediatr Res* 2018; 84 (Suppl 1): 18-29.
3. El-Khuffash A, Schubert U, Levy PT, et al. Deformation imaging and rotational mechanics in neonates: a guide to image acquisition, measurement, interpretation, and reference values. *Pediatr Res* 2018; 84 (Suppl 1): 30-45.
4. Levy P, Tissot C, Horsberg Eriksen B, et al. Application of Neonatologist Performed Echocardiography in the assessment and management of neonatal heart failure unrelated to congenital heart disease. *Pediatr Res* 2018; 84 (Suppl 1): 78-88.
5. Singh Y, Roehr CC, Tissot C, et al. Education, training, and accreditation of Neonatologist Performed Echocardiography in Europe-framework for practice. *Pediatr Res* 2018; 84 (Suppl 1): 13-17.

6. van Laere D, van Overmeire B, Gupta S, et al. Application of NPE in the assessment of a patent ductus arteriosus. *Pediatr Res* 2018; 84 (Suppl 1): 46-56.
7. de Boode WP, Singh Y, Molnar Z, et al. Application of Neonatologist Performed Echocardiography in the assessment and management of persistent pulmonary hypertension of the newborn. *Pediatr Res* 2018; 84 (Suppl 1): 68-77.
8. Groves AM, Singh Y, Dempsey E, et al. Introduction to neonatologist-performed echocardiography. *Pediatr Res* 2018; 84 (Suppl 1): 1-12.
9. Mertens L, Seri I, Marek J, et al. Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: practice guidelines and recommendations for training. *Eur J Echocardiogr* 2011; 12: 715-736.
10. Kluckow M. Use of ultrasound in the haemodynamic assessment of the sick neonate. *Arch Disease Child Fetal Neonatal Ed* 2014; 99: F332-337.
11. Kluckow M, Evans N. Superior vena cava flow in newborn infants: a novel marker of systemic blood flow. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2000; 82: F182-187.
12. Klugman D, Berger JT. Echocardiography and focused cardiac ultrasound. *Pediatr Crit Care Med* 2016; 17 (8 Suppl 1): S222-224.
13. Lai WW, Geva T, Shirali GS, et al. Guidelines and standards for performance of a pediatric echocardiogram: a report from the Task Force of the Pediatric Council of the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2006; 19: 1413-1430.
14. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2015; 16: 233-270.
15. Ficial B, Bonafiglia E, Padovani EM, et al. A modified echocardiographic approach improves reliability of superior vena caval flow quantification. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2017; 102: F7-F11.
16. James AT, Corcoran JD, Jain A, et al. Assessment of myocardial performance in preterm infants less than 29 weeks gestation during the transitional period. *Early Hum Dev* 2014; 90: 829-835.
17. Kluckow M, Seri I, Evans N. Echocardiography and the neonatologist. *Pediatr Cardiol* 2008; 29: 1043-1047.
18. Dyar D. Z-Scores and reference values for pediatric echocardiography [Internett]. 2018 [siter 5 mars 2019]. Tilgjengelig fra: <http://www.parameterz.com>