

Intrakoronar ultralydundersøkelse ved aterosklerotisk sykdom og angioplastikk

Sammendrag

Intrakoronar ultralydundersøkelse blir i økende grad brukt sammen med koronar angiografi for å diagnostisere koronar hjertesykdom og som hjelpemiddel ved koronar angioplastikk med bruk av stent. Basert på egen erfaring og relevant litteratur gir vi en oversikt over bruk av intrakoronar ultralyd.

Undersøkelsen utføres ved hjertekaterisering ved innføring av ultralydtransduser i miniatyrformat i koronararterie. Elektroniske signaler bearbeides av en prosesseringsenhet og lager tverrsnittsbilder av arterien med lumen og arterievegg. I motsetning til koronar angiografi vil ultrasonografi fremstille detaljer både ved arterieveggen og lumen. Ultralydundersøkelse gir detaljert informasjon om utbredelsen av aterosklerose, lokalisasjonen i arterieveggen og tillater kvantitative målinger. Teknikken er spesielt nyttig ved koronar angioplastikk for å oppnå best mulig resultat både ved bruk av ballong alene og spesielt ved stenting.

Intrakoronar ultralydundersøkelse har gitt økt kunnskap om koronar hjertesykdom og blir i økende grad brukt ved koronar angioplastikk.

Engelsk sammendrag finnes i artikkelen på www.tidsskriftet.no

Basert på en hovedoppgave i medisinstudiet ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet, Trondheim 2001 (24)

Stig-Erlend Bærøy *

Gaute H. Nilsen*

Harald Vik-Mo

harald.vik-mo@medisin.ntnu.no

Hjertemedisinsk avdeling

St. Olavs Hospital

7006 Trondheim

* Nåværende adresser:

S-E. Bærøy, Medisinsk avdeling

Namsos sykehus

G.H. Nilsen, Medisinsk avdeling

Levanger sykehus

Koronar angiografi er i dag hovedmetoden for å vurdere graden av aterosklerose i koronararteriene. Men metoden har viktige begrensninger som har gjort at andre teknikker blir brukt som supplement til angiografi. Mens koronar angiografi bare viser lumen i arterien i ett plan, vil man ved intrakoronar ultrasonografi dessuten kunne undersøke de ulike lag i arterieveggen og nærliggende strukturer, og man kan måle dimensjoner og påvise karakteristika ved ulike komponenter i arterieveggen. I motsetning til koronar angiografi vil man ved intrakoronar ultralyd også kunne undersøke arterien uavhengig av om karet er slynget eller har overliggende arteriegrener.

Intrakoronar ultralyd blir nå i økende grad brukt innen diagnostikk av aterosklerotisk koronarsykdom og ved koronar angioplastikk med stenting. Bruken av ultralyd har økt vår forståelse av behandlingsmetoden koronar angioplastikk og har bidratt vesentlig til å redusere hyppigheten av stenttrombose og restenose etter angioplastikk med stenting (1–3). Hensikten med denne artikkelen er å redegjøre for undersøkelsen og påpeke indikasjoner der man har nytte av intrakoronar ultralyd. Informasjonen er innhentet gjennom litteratursøk og ved erfaring med bruk av undersøkelsen.

Metoden

Utstyret som brukes ved intrakoronar ultralyd består av to hovedkomponenter: kateter med innebygd miniatyrtransduser og en prosesseringsenhet som omdanner de elektroniske signaler til bilder. Katetrene med ultralydtransduser har tykkelse 2,8–3,2 F (0,93–1,07 mm) og føres inn i koronararterien over en tynn innføringsvaier.

Ultralydundersøkelsen blir utført ved at kateteret med ultralydtransduser (sender og mottaker av ultralydsignaler) blir ført inn i

koronararterien. Siden transduseren er plassert i nær kontakt med karveggen, blir det brukt høye ultralydfrekvenser, mest vanlig 30–40 mHz. Bruken av høye frekvenser gir god oppløselighet siden den teoretisk maksimale oppløseligheten er inverst proporsjonal med bølgelengden. Det er to typer transdusere: mekanisk roterende og elektroniske transdusere med multiple piezoelektriske krystaller som aktiveres i sekvens. Begge typer skanner hele circumference på 360° i et plan vinkelrett på lengdeaksen. De mekaniske ultralydsystemene har ett enkelt piezoelektrisk element som vanligvis roterer med hastighet 1 800 omdreininger per minutt dvs. 30 bilder/sekund.

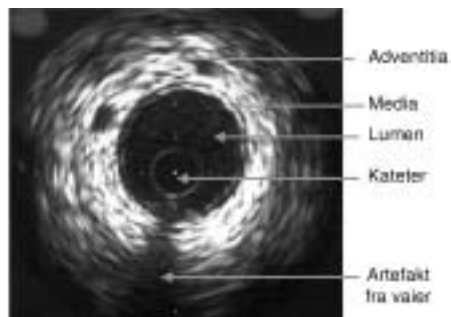
Praktisk gjennomføring

Metoden brukes alltid i forbindelse med koronar angiografi eller angioplastikk der man bruker føringskateter (diameter 2,0 mm) som plasseres i avgangen av koronararterien fra aorta. Før innføring av ultralyd-kateteret gis heparin, minimum 5 000 IE intravenøst og glyserylnitrat intrakoronart (vanligvis 200 µg). Ultralydkateteret føres over en tynn vaier og spissen av ultralydkateteret plasseres minimum 10 mm distalt for området man ønsker å undersøke. Under kontinuerlig registrering av ultralydbilder blir transduser dratt tilbake i arterien med en konstant fart – 0,5–1,0 mm/sekund, enten manuelt eller mekanisk. Mekanisk tilbaketrekking er nødvendig for kvantitativ måling av plakkstørrelsen, mens manuell tilbaketrekking kan brukes for kvalitative målinger. Området distalt for lesjonen og hele arterien opp til ostiet blir fremstilt. Bildene vises på skjerm og lagres på video eller CD. Det blir gjort kvantitative målinger av arteriens lumen, karstørrelsen og mengden aterosklerose (størrelsen av plakk).



Hovedbudskap

- Ultralydundersøkelse i koronarkarene utføres med transdusere i miniatyrformat og fremstiller lumen og karveggen
- Intrakoronar ultralyd har bidratt vesentlig til forståelse av mekanismene bak koronar angioplastikk og har i stor grad påvirket teknikken
- Ultralydstudier ved stentplassering har redusert forekomsten av stenttrombose og restenose



Figur 1 Normal arterie med kateter i lumen, tynn media omgitt av membrana elastica externa og adventitia. Vasa vasorum i adventitia kl 10 og 12. Arterefakt fra vaier kl 6

Med erfaring fra koronar intervensjon tar det i praksis 5–10 minutter å gjennomføre en undersøkelse med intrakoronar ultralyd inkludert tilrettelegging av utstyret når undersøkelsen gjøres som tillegg til koronar angiografi eller angioplastikk.

Relative kontraindikasjoner

Metoden er uegnet i små arterier (< 1,5 mm), langt distalt i arterier og i sterkt slyngede arterier der risikoen for skade av arterieveggen eller okklusjon med kateteret er størst (1). Ved tromber i arterien eller ved generell arteriosklerose i eldre venegraft er det risiko for løsriving av materiale og ultralydundersøkelser er relativt kontraindiserte.

Risiko

Risikoen ved intrakoronar ultralyd er liten og godt dokumentert (4). De mest vanlige komplikasjonene er transitorisk spasme i koronararterien og angina pectoris. Karspasme ble funnet hos 2,9% i en større retrospektiv undersøkelse (4), og spasmen lar seg vanligvis lett reversere med nitroglyseryl. For å unngå utløsning av myokardiskemi bør man i størst mulig grad unngå undersøkelse av trange stenoser eller små arterier (< 1,2 mm) der ultralydkateteret kan tilstoppe arterien. Alvor-

lige komplikasjoner som hjerteinfarkt og behov for hjertekirurgi eller død som skyldes forhold ved prosedyren (disseksjon i arterieveggen, emboli eller alvorlig rytmefeil) er sjeldent og oppgis til 0,1–0,4% (2, 4). Slike komplikasjoner oppstår spesielt når intrakoronar ultralyd brukes i forbindelse med akutt koronarsyndrom.

Normal arterie

Ultralydsignalet blir reflektert ved forandring i de akustiske egenskapene til strukturene i arterieveggen. Relativt skarpt ekko får man fra intima som grenser mot lumen og fra grensesjiktet mellom ytre del av media og membrana elastica externa som grenser mot adventitia.

Intima er normalt en tynn struktur som bare vil være svakt synlig like utenfor media (fig 1). Ved fødselen er det bare ett enkelt lag endotelceller, men tykkelsen øker med alderen og spesielt i områder der veggensjon er høy som i arteriedelinger (5). Ved aterosklerotisk sykdom vil de ulike lag reflektere lydbølger, og intima vil fremstilles som tett, hvitt vev (fig 2 a). Media har et homogent lag med glatte muskelceller som ikke reflekterer ultralyd og som derved synes som en tynn, mørk sone med tykkelse om lag 0,2 mm. Den lave refleksjonen av ultralyd fra media kommer av at det er mindre kollagen og elastin enn i nabolagene. I grensen mellom media og adventitia er det et markert skille i ultralydrefleksjonen svarende til membrana elastica externa. Adventitia har lag med kollagen som vil reflektere mye ultralyd og som derved er hvitt på ultralydbildene. Adventitia har foruten bindevev også blodkar, lymfekar og nerver. Blodet i lumen av arterien er lettest synlig på levende bilder som beveglige, subtile ekko og disse bevegelige ekko er nyttig ved definering av grensen mot intima. Injeksjon av røntgenkontrast gjennom føringskateteret vil gjøre det lettere å skille mellom blod i lumen og intima fordi kontrasten vil inneholde mikrobobler som reflekteres.

Aterosklerose i koronararteriene

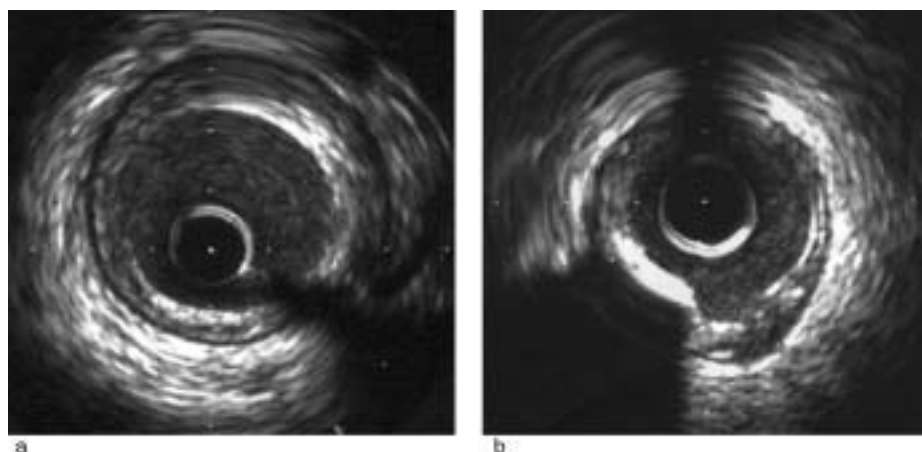
Når det avleires aterosklerotisk materiale i koronararterien vil dette bli synlig som en fortykkelse av intima. Ved ultralyd klassifiseres lesjonene som myke, fibrøse eller kalsifiserte etter graden av ekkotetthet i lesjonen (fig 2) (6). Det fleste arterielesjoner er fibrøse. Ved ultralyd blir et fibrøst plakk fremstilt som et område med heterogene, lyse ekko i intima med en ekkotetthet som likner på den man ser i adventitia (fig 2a). Myke lesjoner med svak ekkotetthet har man i plakk som har diffus lipidinfiltasjon i intima og i fibromuskulære cellerike lesjoner. Det er de sterkt lipidholdige lesjoner som vanligvis gir akutt koronarsyndrom, og som derved kalles vulnerable plakk. Ved dagens ultralydteknikk kan lipidholdige lesjoner ikke tilfredsstillende skilles fra cellerike fibromuskulære lesjoner. Kalk i intima gir et intenst ekko med reflekterende skygge (akustisk skygge) (fig 2b). Påvisning av kalk er viktig fordi disseksjoner lett oppstår i overgangen mellom kalk og mykt plakk. Histologisk er de aterosklerotiske plakkene sjelden homogene, men består av en blanding av de ulike plakkkomponenter. Tromber i arterier er synlig ved ultralyd som en grå, ikke homogen masse med uklar avgrensning mot lumen og lettest påvisbar på levende bilder der man tydeligere ser avgrensningen mot blodet.

Kvantitative målinger

Lumen i arterien er definert av grensen mellom blod og intima. Lumens diameter (mm) og areal (mm²) i tverrsnittsbildet beregnes etter kalibrering av måleenheten (fig 3). Stenoser blir målt i det området av arterien som er trangest (minimal lumendiameter og minimalt lumenareal). Ved måling av stenosegrad ved ultralyd blir minimalt lumen kalkulert i forhold til dimensjoner i et normalt segment (referansesegment) like proksimalt eller distalt for stenosen.

Karrets størrelse (diameter og areal) er definert som dimensjoner innenfor media (fig 3). Membrana elastica externa i grensen mellom media og adventitia gir større ekkorefleksjon enn media, og er derfor lettere å påvise enn media. I praksis brukes derfor membrana elastica externa som ytre begrensning for karet ved måling av karstørrelse, og arealet benevnes da totalt arterieareal. Siden media er en tynn struktur, vil arealet i det aterosklerotiske plakk være definert av totalt arterieareal minus lumens areal. Plakkets andel av arteriens areal (%) er uttrykk for mengden aterosklerose i arterien og blir i engelsk litteratur omtalt som «plaque burden». Arterien kan gjennomgå remodelering med bevaring av lumen og utvidning av arterieveggen (positiv remodelering) eller forsnevring av arterieveggen (negativ remodelering) i områder med aterosklerose (7). Derfor vil stenosegraden definert slik ikke være sammenfallende med stenosegrad målt angiografisk eller ved intrakoronar ultralyd med bruk av referansesegmenter.

I helt normale koronararterier er det van-



Figur 2 Arterier med aterosklerotisk plakk. a) Fibrøst plakk omgitt av ekkosvak media. Arterefakt fra vaier kl 5. b) Plakk med kalk som gir akustisk skygge kl 6–8

ligvis godt samsvar mellom målte dimensjoner av lumen ved angiografi og ultralyd (1). Angiografisk teknikk begrenses ved at arterien fremstilles i ett plan, mens arterier har en kompleks romlig geometri der avdekking av stenotiske områder forutsetter friprojeksjon av karområdet.

Begrensninger ved ultralyd

Det er flere begrensninger ved dagens ultralydmetodikk. Ved bruk av mekanisk roterende transdusere kan det oppstå friksjon slik at ultralydtransduseren roterer ujevnt og gir falske dimensjoner i bildet.

Selv om intrakoronar ultralyd gir detaljerte bilder som likner et histologisk snitt, utgjør bildene akustisk refleksjon i arterieveggen og flere ulike typer vev kan gi samme grad av refleksjon. En trombe og et mykt, lipidholdig plakk kan ha samme ekkotetthet, og det kan være vanskelig å skille mellom dem.

Indikasjoner for bruk av intrakoronar ultralyd

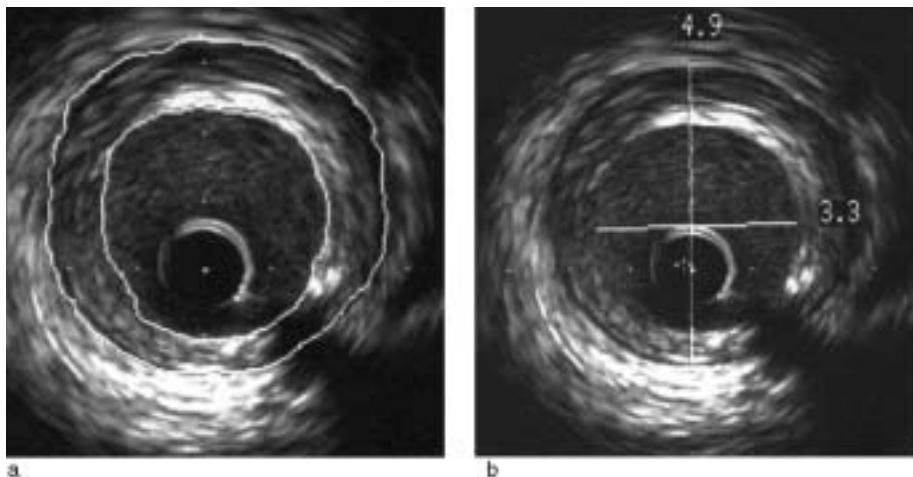
Intrakoronar ultralyd brukes som et supplement til koronar angiografi i diagnostikk av koronarsykdom, men mest brukes undersøkelsen i forbindelse med koronar angioplastikk (e-tab 1).

Angina pectoris og normale koronararterier

Normale koronararterier finnes hos 10–15 % av pasienter som gjennomgår koronar angiografi ved mistanke om koronar hjertesykdom. Ved intrakoronar ultralyd finnes ofte aterosklerose i angiografisk normale områder hos slike pasienter (8, 9). Det er to forhold som gjør at aterosklerose blir undervurdert ved angiografi: Aterosklerosen er ofte diffus og kan gi en generell og jevn reduksjon av lumen («liten arterie»), og positiv remodelering i arterien med bevaring av lumen i områder med aterosklerose (7). I tidlige stadier av aterosklerose kan positiv remodelering med utvidning av karveggen gjøre at lumen ved angiografi kan være tilnærmet normalt, og først når det aterosklerotiske plakk når en viss øvre mengde, vil lumen i arterien bli redusert. Gjennom positiv remodelering med utvidning av arterien etter hvert som ateromet øker i mengde, vil man kunne finne et tilnærmet normalt lumen inntil ateromet utgjør ca. 40 % av det totale tverrsnittsarealet i arterien, og først da vil man se reduksjon av lumen (10). Selv om slike lesjoner ikke gir obstruksjon av blodstrømmen, er denne formen for aterosklerose et viktig substrat for akutt koronar syndrom der rift eller fissur i overflaten av plakk kan gi trombose og arterieokklusjon (6).

Usikre funn ved koronar angiografi

Enkelte arterielesjoner er vanskelige å vurdere ved angiografi. Det gjelder spesielt stenoser i ostiene ved avgangen av høyre og venstre koronararterie fra aorta, og i arterie-



Figur 3 Kvantitative målinger. a) Areal av lumen (indre sirkel, areal 9,1 mm²) og av karet (ytre sirkel, totalt arterieareal 19,5 mm²). Plakkarealet er definert som arealet mellom lumen og karet (10,4 mm²). Plakkarealet er definert som arealet mellom lumen og karet (10,4 mm²). Areal stenose er 53 %. b) Diameter av lumen (vannrett, 3,3 mm) og diameter av karet (loddrett, 4,9 mm). Diameter stenose er 32 %

delinger. Ved ekstrem fedme, emfysem eller brystanomalier kan kvaliteten av angiogrammet være utilstrekkelig for sikker diagnose. Spesielt hvis det også er uavklarte symptomer eller iskemidiagnostiske funn, vil ultralyd kunne ha betydning for en riktig diagnose. I prospektive undersøkelser er det vist at hos slike pasienter vil intrakoronar ultralyd før planlagt koronar angioplastikk kunne forandre behandlingsopplegget hos mer enn 20 % av pasientene (11, 12). Måling av intrakoronar blodtrykk og/eller blodstrømsmålinger med doppler er alternative metoder ved usikre angiografiske funn.

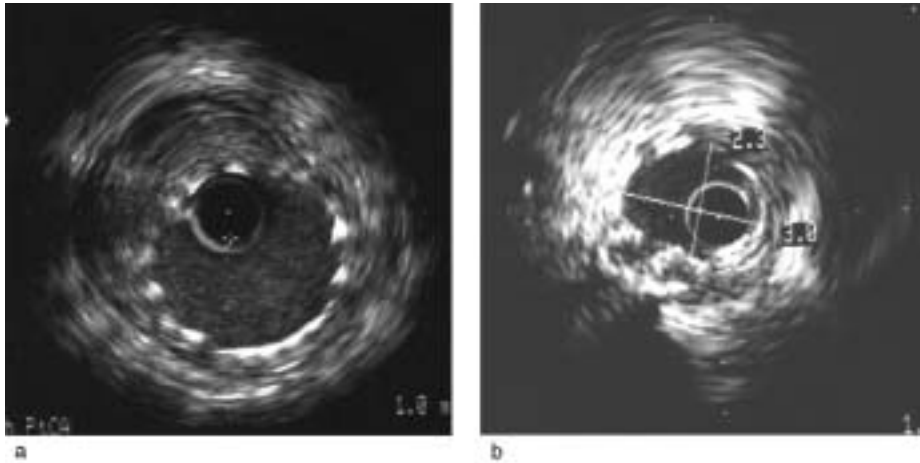
Bruk ved koronar angioplastikk og stenting

Lesjonens utbredelse, karetets dimensjon og plakkets sammensetning er avgjørende ved valg av utstyr og behandlingsstrategi ved koronar angioplastikk. Bruk av ultralyd fører til forandret behandling hos 30 % eller mer av pasientene i sammenlikning med angiografi alene (11, 13). Opplysning om kalk i arterien (1) er spesielt viktig. Kalk i subendoteliale lag som omfatter mer enn 90° av omkretsen, fører ofte til disseksjoner ved dilatasjon, og når kalken utgjør mer enn 180° av omkretsen kan det være vanskelig å åpne en stent i området (14, 15). Oftest forandrer resultatet av ultralydundersøkelsen valget av ballongstørrelse da man med sikkerhet kan vurdere om referanseområdet man har valgt distalt eller proksimalt for lesjonen, virkelig er fritt for aterosklerotiske forandringer. Behandlingsstrategien kan ellers forandres ved påvisning av komplikasjoner som disseksjon, mangelfull utvidning av stenten eller manglende kontakt mellom stenten og arterieveggen (2, 11). Et vedvarende godt resultat etter angioplastikk er avhengig av at arterien blir åpnet så mye som mulig uten at det oppstår komplikasjoner (16). Ved bruk av ultralyd før intervensjonen kan valg av ballongstørrelse og trykk base-

res på innvendige målinger i arterien, både av lumen og karveggen. Man kan derved oppnå en større grad av utvidelse av lumen uten komplikasjoner enn ved angiografi alene (17).

Intrakoronar ultralydundersøkelse har bidratt vesentlig til forståelse av mekanismene bak koronar angioplastikk og har i stor grad påvirket teknikken. Tidligere var subakutt stenttrombose et hovedproblem idet det oppstod akutt arterieokklusjon i de første uker etter stentinnleggelse. Ved bruk av intrakoronar ultralyd kunne man vise at mangelfull utvidelse av stenter var vanlig til tross for et adekvat angiografisk bilde, og at man ved å bruke høye ballongtrykk (12–18 atmosfærer) ved plassering av stenter kunne redusere risikoen for stenttrombose vesentlig (18, 19). Ultralydstudier har vist at stenten skal være i god kontakt med arterieveggen, være fullstendig ekspandert i alle områder for å unngå trombedanning i stenten, og det skal ikke være skade av arterien i kanten av stenten (kantdisseksjon) (fig 4a) (e-tab 2) (16). Ved kalk i veggen eller ved slynger i karet kan deler av stenten bli mangelfullt ekspandert (fig 4b). Man må da utvide stenten ved bruk av høyere ballongtrykk eller større ballong.

Langtidsprognosen etter angioplastikk er nær relatert til opptreden av restenose og derved til behandlingsresultatet. Konseptet «dess større dess bedre» betyr at ved å lage en størst mulig åpning i arterien ved angioplastikk alene eller ved stenting, vil risikoen for å utvikle restenose bli redusert (2, 16). Derfor er det et hovedmål ved angioplastikk å utvide lumen så mye som mulig uten at det oppstår komplikasjoner. Ved ultralyd kan dimensjonene av karene måles utenfor stenose og derved tjene som referanse ved valg av ballonger og stenter. Et angiografisk normalt referansesegment kan ha betydelig grad av aterosklerose og ha utseende som en liten arterie (20). Under rettledning av ultralyd



Figur 4 Stentplassering. a) Normalt plassert stent med symmetrisk åpning av stenten i kontakt med karveggen i hele omkretsen. b) Ufullstendig åpent stent på grunn av kalk i karet. Det er asymmetrisk åpning av stenten med diameter 3,0 mm og 2,3 mm i to plan. Dette skyldes kalk i arterien kl 5–8

kan man derfor gjennomføre en mer aggressiv behandling med bruk av større ballonger og stenter enn ved bruk av angiografi alene og derved oppnå større lumen i arterien uten komplikasjoner. Men ultralydstudier har også vist at hvis man utvider lumen i arterien for mye, vil dette resultere i økt proliferasjon av neointima som følge av vevsskade og med følgelig økt risiko for restenose (21). Vanligvis vil den økte proliferasjonen av intima ved innsettning av stent med høyt trykk være mindre enn den ekstra utvidelse av lumen som en oppnår ved stenting, og alt i alt vil stenting halvere risikoen for restenose (16). Flere kontrollerte studier har vist at minste lumendiameter etter angioplastikk både med og uten bruk av stent er økt ved bruk av ultralyd under behandlingen (3, 17, 22).

Påvisning av komplikasjoner ved angioplastikk

Mindre disseksjoner i arterieveggen er vanlige ved angioplastikk og er ofte en forutsetning for vellykket utvidning av arterien uten tilbakefall. Men en mer omfattende disseksjon kan gi akutt obstruksjon av arterielumen og er en fryktet komplikasjon ved behandlingen. Ved alvorlig disseksjon kan man ved ultralyd se blodstrøm i arterieveggen utenfor normalt lumen og deler av intima som bevegelige vevsfliker i lumen. Blodstrømmen kan være delvis eller komplett tilstoppet. Behandling av disseksjon er som regel stenting med lukning av defekten i intima. Et ikke uvanlig funn ved angiografi etter angioplastikk er mindre oppklaringer i lumen med eller uten forandringer i blodstrømmen (23). Ultralyd vil kunne avdekke årsakene. Disse kan være disseksjon, forskyvninger av plakk etter dilatasjonen, eller kalk. En annen viktig indikasjon for ultralyd etter plassering av stent kan være mistanke om feilplassert stent ved langsom blodstrøm eller ved at pasienten har vedvarende angina pectoris.

Konklusjon

Intrakoronar ultrasonografi har gitt økte kunnskaper om utbredelse av aterosklerose i koronararteriene og har i vesentlig grad bidratt til økt forståelse av koronar angioplastikk. Bruk av ultralyd synes å øke kvaliteten på angioplastikkbehandlingen. Metoden tillater mer presis tilmåling av ballonger og stenter og gjør det lettere å oppdage komplikasjoner enn ved angiografi alene. Størst betydning har teknikken som tillegg til angiografi ved vanskelig diagnostisering av stenoser og ved plassering av stenter.

e-tab 1 og e-tab 2 finnes i artikkelen på www.tidsskriftet.no

Litteratur

- Di Mario C, Gorge G, Peters R, Pinto F, Hausmann D, von Birgelen C et al. Clinical application and image interpretation in intracoronary ultrasound. *Eur Heart J* 1998; 19: 207–29.
- Yamashita T, Colombo A, Tobis JM. Limitations of coronary angiography compared with intravascular ultrasound: implications for coronary interventions. *Progr Cardiovasc Dis* 1999; 42: 91–138.
- Vik-Mo H. Intravascular ultrasound improves the quality of coronary interventions, but is it worth the extra time and money invested? *Scand Cardiovasc J* 2001; 35: 67–9.
- Hausmann D, Erbel R, Allibelli-Chemarin MJ, Boks W, Caracciolo E, Cohn JM et al. The safety of intracoronary ultrasound. A multicenter survey of 2207 examinations. *Circulation* 1995; 91: 623–30.
- Stary HC, Blankenhorn DH, Chandler AB, Glasov S, Insull W jr, Richardson M et al. A definition of the intima of human arteries and of its atherosclerosis-prone regions. *Circulation* 1992; 85: 391–405.
- Hodgson JB, Reddy KG, Suneja R, Nair RN, Lesnfsky EJ, Sheehan HM. Intracoronary ultrasound imaging: correlation of plaque morphology with angiography, clinical syndrome and procedural results in patients undergoing coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 1993; 21: 35–44.
- Glagov S, Weisenberg E, Zarins CK, Stankunavicius K, Kolettis GJ. Compensatory enlargement of human atherosclerotic coronary arteries. *N Engl J Med* 1987; 316: 1371–5.
- Topol EJ, Nissen SE. Our preoccupation with coronary luminology: the dissociation between clinical and angiographic findings in ischemic heart disease. *Circulation* 1995; 92: 2333–42.

- Erbel R, Ge J, Bockisch A, Kearney P, Gorge G, Haude M et al. Value of intracoronary ultrasound and Doppler in the differentiation of angiographically normal coronary arteries: a prospective study in patients with angina pectoris. *Eur Heart J* 1996; 17: 880–9.
- Hermiller JB, Tenaglia AN, Kisslo KB, Phillips HR, Bashore TM, Stack RS et al. In vivo validation of compensatory enlargement of atherosclerotic coronary arteries. *Am J Cardiol* 1993; 71: 665–8.
- Lee DY, Eigler N, Luo H, Nishioka T, Tabak SW, Forrester JS et al. Effect of intracoronary imaging on clinical decision making. *Am Heart J* 1995; 129: 1084–93.
- Mintz GS, Pichard AD, Kovach JA, Kent KM, Sattler LF, Javier SP et al. Impact of preintervention intravascular ultrasound imaging on transcatheter treatment strategies in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1994; 73: 423–30.
- Talley JD, Mauldin PD, Becker ER, Stikovac M, Leesar MA. Cost and therapeutic modification of intracoronary ultrasound-assisted coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1996; 77: 1278–82.
- Fitzgerald PJ, Ports TA, Yock PG. Contribution of localized calcium deposits to dissection after angioplasty in vivo assessed by intravascular ultrasound imaging. *Circulation* 1992; 86: 64–70.
- Botas J, Clark DA, Pinto F, Chenzbraun A, Fischell TA. Balloon angioplasty results in increased segmental coronary distensibility: a likely mechanism of percutaneous transluminal coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 1994; 23: 1043–52.
- De Jaegere P, Mudra H, Fighulla H, Almagor Y, Doucet S, Penn I et al. Intravascular ultrasound-guided optimized stent deployment. Immediate and 6 months clinical and angiographic results from the Multicenter Ultrasound Stenting in Coronaries Study (MUSIC study). *Eur Heart J* 1998; 19: 1214–23.
- Stone GW, Hodgson JM, St Goar FG, Frey A, Mudra H, Sheehan H et al. Improved procedural results of coronary angioplasty with intravascular ultrasound-guided balloon sizing. The CLOUT Pilot trial. *Circulation* 1997; 95: 2044–52.
- Colombo A, Hall P, Nakamura S, Almagor Y, Maiello L, Martini G et al. Intracoronary stenting without anticoagulation accomplished with intravascular ultrasound guidance. *Circulation* 1995; 91: 1676–88.
- Nakamura S, Colombo A, Gaglione A, Almagor Y, Goldberg SL, Maiello L et al. Intracoronary ultrasound observations during stent implantation. *Circulation* 1994; 89: 2026–34.
- Haase KK, Athanasiadis A, Mahrholdt H, Treusch A, Wullen B, Jaramillo C et al. Acute and one year follow-up results after vessel adapted PTCA using intracoronary ultrasound. *Eur Heart J* 1998; 19: 263–72.
- Uretsky BF, Rosanio S, Lerakis S, Wang FW, Smiley M, Stouffer GA et al. A prospective evaluation of angiography-guided coronary stent implantation with high versus very high balloon inflation pressure. *Am Heart J* 2000; 140: 804–12.
- Frey AW, Hodgson JM, Muller C, Bestehorn HP, Roskamm H. Ultrasound-guided strategy for provisional stenting with focal balloon combination catheter. Results from the randomized strategy for intracoronary ultrasound-guided PTCA and stenting (SIPS) trial. *Circulation* 2000; 102: 2497–502.
- Grewal J, Ganz P, Selwyn A, Kinlay S. Usefulness of intravascular ultrasound in preventing stenting of hazy areas adjacent to coronary stents and its support of support spotstenting. *Am J Cardiol* 2001; 87: 1246–9.
- Børøy S-E, Nilsen GH. Vurdering av stentplassering ved bruk av intravaskulær ultralyd (IVUS). Hovedoppgave i medisinstudiet. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, 2001.