

Tänapäevaste kuvamismeetodite rakendamine südame isheemiatõve käsitlemisel

Andrei Šamarin, Äli Tõnnov, Ruth Brand, Sergei Nazarenko – Põhja-Eesti Regionaalhaigla

süda, isheemiatõbi, pärgarterid, koronaarterid, müokard, KT, MRT, SPET, PET

Südame isheemiatõve käsitlemisel on õige diagnostika- ja ravimeetodi valik parima prognoosi ja ravitulemuse saavutamise võtmeküsimuseks. Äsja ka Eestis kättesaadavaks muutunud uute diagnostikameetodite juurutamine igapäevatõesse tingib vajaduse tutvustada nende põhimõtteid ja kasutusvõimalusi. Ülevaateartiklis on käsitletud kompuutertomograafia (KT), magnetresonantstomograafia (MRT) ja nukleaarmeditsiiniliste uurimismeetodite (SPET, PET) kasutamist südame isheemiatõve erinevate staadiumite diagnostikas ning antud erialakirjanduses avaldatud andmete ja oma kogemuste põhjal meie igapäevase tegevuse tingimustele vastavaid soovitusi erinevate meetodite kasutamiseks kliinilises praktikas.

Südame isheemiatõbi on üheks peamiseks surmapõhjuseks Eestis. Õigeaegne ja täpne diagnostika on tulemusliku ravi eelduseks. Elektrokardiograafia (EKG), ehokardiograafia (EhhoKG) ja selektiivne koronarograafia (SKG) on kindlalt juurdunud kliinilisse praktikasse südame isheemiatõbe põdevate inimeste uurimisel. Seetõttu artikli autorid nendel meetoditel pikemalt ei peatu. Käsitlemist leiavad viimastel aastatel edukalt kasutusele võetud, kuid seni vähe tuntud tänapäevased kuvamismeetodid, mis võimaldavad parandada südame isheemiatõve diagnoosimist, käsitleda tulemuslikumalt haigusjuhtu, tõhustada ravimenetluste planeerimist ning prognoosi hindamist.

Artikli **eesmärgiks** on anda ülevaade vastsetest arengusuundadest nüüdisaegsete kuvamismeetodite rakendamisel südame isheemiatõve käsitlemiseks, tutvustada neid ja nende näidustusi ning anda soovitusi kliiniliseks tööks. Käsitlust leiavad KT, MRT, SPET ning PET.

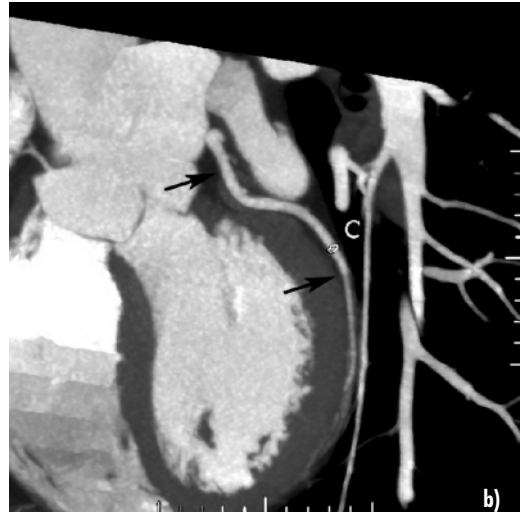
Artikli illustreerimiseks kasutatud pildid on tehtud Põhja-Eesti Regionaalhaiglas.

Kompuutertomograafia

Tänapäevased senisest täpsema ruumilise ja ajalise eristusvõimega kompuutertomograafid on teinud võimalikuks liikuva südame ja vaid paari millimeetri suuruste koronaarterite kuvamise. Südame KT-

uuringu salvestamine toimub sünkroonis EKGga ning see võimaldab saada kujutisi südamsükli eri faasidest ja kasutada saadud infot nii südame morfoloogia kui ka funktsiooni hindamiseks. Usaldusväärse südame-KT-uuringu eelduseks on regulaarne südamerütm, mis ei ole väga kiire. See võimaldab saada oluliselt parema kvaliteediga kujutisi, suurendada hinnatavate veresoonte arvu ja stenoosi määramise täpsust (1). Seepärast manustatakse vajaduse korral vahetult uuringu eel südame rütmi aeglustavat beetablokaatorit.

Südame KT-uuring toimub kahes faasis. Kõigepealt tehakse ilma kontrastaineta nn natiivuuringu, et hinnata lubinaastude olemasolu koronaarterites. Lubinaastude ulatuse kvantitatiivsel mõõtmisel saadakse nn kaltsiumi skoor (Ca skoor, Agatstoni skoor) – see on üksikute naastude pindala summa, mis on korrutatud naastu tiheduse faktoriga. Kui koronaarterites ei ole ühtegi lubinaastu, siis on Ca skoor 0 ning koronahaiguse esinemise tõenäosus järgmise 2–5 aasta jooksul on väike (2, 3). Enamikul neist patsientidest on koronaarterid normaalsed ka koronarograafilisel uuringul. Samas võivad 10%-l suure riskiga patsientidest esineda kaltsiumit mittedisaldavad pehmed naastud. Kui Ca skoor on positiivne, on see kindel viide haiguse olemasolule. Kui Ca skoor on suurem kui 400, siis südameataki tõenäosus 2–5 aasta jooksul on



Joonis 1. Südame KT-uuring 16realisel kompuutertomograafil GE LightSpeed Pro. 68aastasel naispatsiendil tehti uuring ebatüüpilise rindkerevalu tõttu. Uuringu ajal südame löögisagedus 50 x/min. (a) Rekonstruktsioon paremast koronaararterist (nooded) – valendiku ahenemist ei ole. (b) Rekonstruktsioon vasakust ümberhaaravast koronaararterist (nooded) – valendiku ahenemist ei ole.

suur (2, 3). Samas on rohke kaltsiumi esinemine veresoonte seinas KT-uuringul koronaararterite valendiku seisundi hindamist raskendav asjaolu, sest kaltsifikaadi piirkonnas esinevat stenoosi hinnatakse mahuefekti tõttu suuremaks, kui ta tegelikult on. Seetõttu ei ole patsientidele, kelle Agatstoni skoor on suurem kui 400, näidustatud kontrastainega KT-uuringu tegemine (4).

Natiivuuringle järgneb uuring joodi sisaldava kontrastainega, mille puhul kontrastaine süstitakse perifeersesse veeni. Koronaararterite valendik kontrasteerub ja see võimaldab hinnata nii veresoone seina kui ka valendikku. KT eeliseks on just koronaararteri seina ja valendiku üheaegne kuvamine, sest algav ateroskleroosiline protsess kahjustab arteri seina, esialgu valendikku ahendamata – tekib nn positiivne ümberehitus (*positive remodeling*). Samuti on võimalik hinnata naastude iseloomu – kas naastud on põhiliselt lubistunud või pehmed. Ägedat koronaarsündroomi põhjustavad tavaliselt just pehmed naastud, mis ei ahenda oluliselt veresoone valendikku, kuid millel on lipiidirikas sisu ning õhuke sein, mis võib kergelt ruptuureuda ning põhjustada koronaararteri sulgust. Kaudsed ohtliku naastu tunnused on veresoone seina

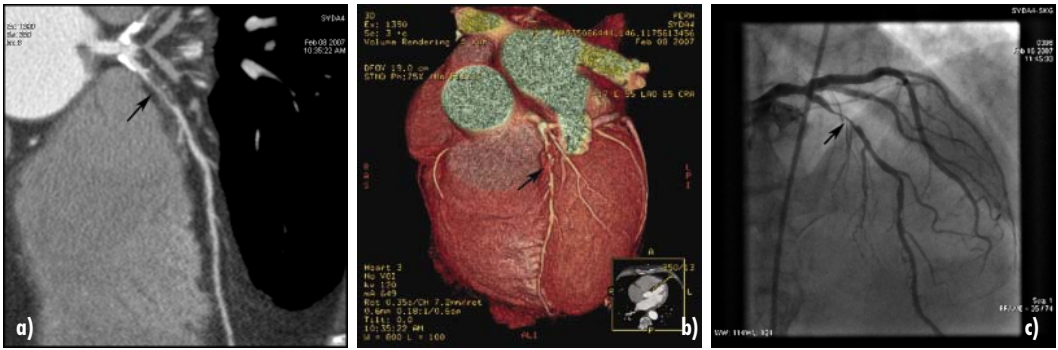
positiivne ümberehitus ning täpjas kaltsifikaat pehme koelise komponendiga.

Stenoosid jaotakse KT-s mitteolulisteks ja olulisteks: hemodünaamiliselt mitteolulised stenoosid on alla 50%, kuigi kliiniliselt ei pruugi nad healoomulised olla. Olulised stenoosid on üle 50%. KT tundlikkus koronaararterite stenoosi avastamisel võrreldes invasiivse angiograafiaga on patsiendi adekvaatse ettevalmistuse korral 83–99% ja spetsiifilisus on 93–98% (1).

Südame KT-uuringu negatiivne ettemäärav väärtus (*negative predictive value, NPV*) on 95–100% (1). See tähendab, et kui KT-uuringul on koronaararterid intaktsed, siis on 95–100% tõenäosusega koronaarhaigus välistatud.

Kellele tuleks teha KT koronarograafiline uuring?

Kõige olulisem näidustus südame KT-uuringuks on võimaliku koronaarhaiguse avastamine või välistamine rindkerevaluga patsientidel, kellel on keskmine koronaarhaiguse tõenäosus, kuid EKGs ei ole tüüpilisi isheemiale viitavaid muutusi; kellele ei ole võimalik teha koormustesti või koormustest ei ole kindlalt müokardi isheemiale viitav ning kor-



Joonis 2. Südame KT-uuring 16realisel kompuutertomograafil GE LightSpeed Pro. 76aastasel meespatsiendil tehti uuring koor-musel tekkiva rindkerevalu tõttu, EKG koormustest ei olnud informatiivne Hisi kimbu parema sääre blokaadi tõttu. Uuringu ajal südame löögisagedus 45 x/min. (a) Multiplanaarne rekonstruktsioon vasakust eesmisest alanevast koronaararterist. Nool osutab arteri proksimaalses osas segatüüpi naastu põhjustatud olulisele stenooisile. (b) Kolmemõõtmeline kujutis südamest. Nool osutab olulisele stenooisile vasakus eesmisest alanevas koronaararteris. (c) Selektiivne koronarograafia samal patsiendil. Preoklusioon vasakus eesmisest alanevas koronaararteris (nool) – hea korrelatsioon KT-leiuga.

duvalt analüüsitud laboratoorsed kardiomarkerid on korras (5) (vt jn 1 ja 2).

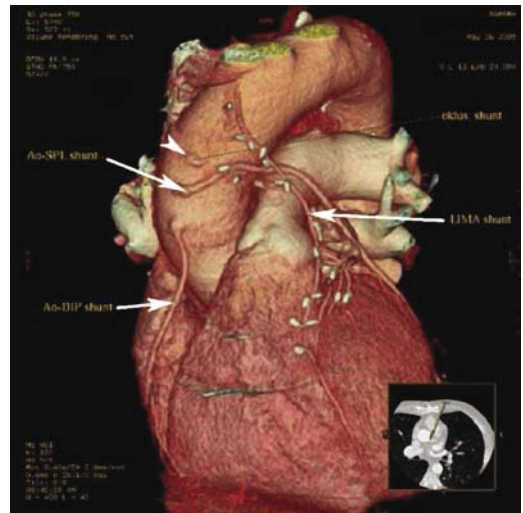
Teiseks oluliseks KT näidustuseks on peale revaskulariseerimist aortokoronaarsete šuntide hindamine. KT-uuringul on hästi näha šuntide alguskohad ning anastomoosikohad ning šundi läbitavus või oklusioon (vt jn 3). Patsientidele on see uuring tunduvalt mugavam, sest neile ei pea siis tegema invasiivset uuringut.

Samuti annab uuring lisainfot teiste rindkere-elundite kohta, samal ajal on võimalik vajaduse korral hinnata aorti ning kopsuartereid, et välistada aordi aneurüsmi või dissektsiooni ning pulmonaalarteri trombembooliat; visualiseerida südame kasvaja või trombe ning hinnata südamepauna seisundit.

Koronaararterite anomaalia kahtluse korral on KT valikmeetodiks, sest see võimaldab jälgida täpselt koronaararteri lähtekohta ning edasist kulgu (5, 6). Koronaararterite anomaaliat esineb ~1%-l rahvastikust ning see on üks äkksurma põhjustest, näiteks noortel sportlastel.

KT-uuringut kasutatakse ka rütmihäiretega patsientidel enne raadiosagedusliku ablatsiooni teostamist, et protseduuri tegeval arstil oleks täpne info kopsuveenide arvust ning nende anatoomiast.

Samuti on võimalik KTga uurida vasaku vatsakese funktsiooni ning klappe, kuigi kuldstandardiks



Joonis 3. Südame KT-uuring 64realisel kompuutertomograafil GE Discovery VCI. 69aastasel meespatsiendil tehti uuring koronaarhaiguse progressiooni kahtluse tõttu. Patsient on põdenud kolm korda müokardiinfarkti, aortokoronaarne šunteerimine tehti 2003. aastal. Uuringu ajal südame löögisagedus 61–65 x/min. Kolmemõõtmeline KT-kujutis šuntidest. Nooled osutavad operatsioonil rajatud koronaaršuntidele. Kolm šunti kontrasteeruvad – nad on läbitavad (sabaga nooled); neljas šunt on sulgunud, jälgitav on ainult šundi algusosa aordi eespool (noole ots).

vasaku vatsakese funktsiooni hindamisel on muutumas MRT ning klapiirikete diagnoosimisel on selleks endiselt EhhoKG.

Südame KT-uuringu eelised on järgmised: uuring on mitteinvasiivne, kontrastainet süstitakse

perifeersesse veeni, uuringut on võimalik teha ambulatoorselt ning veresoont on võimalik hinnata nii intra- kui ekstralumiinaarselt.

Uuringu puuduseks on kujutise kvaliteedi sõltuvus südame löögisagedusest, kiirguskoormus, joodi sisaldava kontrastaine süstimine. Samuti on koronaararterite valendiku hindamine raskendatud suure Ca-skoori korral, sest stenoose hinnatakse mahu efekti tõttu suuremaks, kui nad tegelikult on (1, 4).

Magnetresonanstomograafia

Magnetresonanstomograafia peamiseks rakenduseks südame isheemiatõve käsitlemisel on müokardi struktuuri ja funktsiooni uurimine. Meetodile on iseloomulik väga suur pehmete kudede eristusvõime, mis on erinevate südamestruktuuride hindamise aluseks. Südame uurimiseks kasutatakse sarnaselt EhhoKG-ga standardprojektsioone, vajaduse korral tehakse huvipiirkonnast eriprojektsioonid. Kujutiste saamiseks kasutatakse tugevat magnetvälja ning raadiolainete impulsside järjestust; ioniseerivat kiirgust ei kasutata ja seega puudub uuringul kiirguskoormus.

Südame õontes voolaval verel, müokardil, klapihõlmadel, perikardil ja selle paunas oleval rasval või vedelikul on MRT-kujutistel erinev signaaliintensiivsus ja nad on eristatavad kontrastainet kasutamata. EKGga sünkroniseerimine võimaldab saada suure eristusvõimega kujutisi südamest südamesükli eri faasides ning seega mõõta vatsakeste väljutusfraktsiooni ja müokardi massi, mille hindamist MRTs peetakse teiste nüüdisaegsete meetoditega võrreldes kõige täpsemaks (7).

Müokardi haiguslike muutuste esiletoomiseks kasutatakse gadoliiniumi (Gd) sisaldavaid kontrastaineid, millel on paramagneetilised omadused. Kontrastaine kogunemine patoloogilise muutuse piirkonda toob selle ala esile, suurendades oluliselt sealt tulev signaali intensiivsust. Kontrastaine, mis on süstitud perifeersesse veeni, tugevdab vere signaali ja võimaldab paremini hinnata aordi ja koronaararterite valendikku. Uuringu täpsem planeerimine ja teostamine sõltub uuringu eesmärgist. Magnetuuringu

põhieeliseks on mitteinvasiivne müokardi hindamine ning kiirguskoormuse puudumine.

Magnetuuringu vastunäidustuseks on kardiostimulaatori olemasolu, probleemiks võib osutada klaustrofoobia, ebaregulaarne südamerütm, ettevaatlik peab olema gadoliiniumi sisaldava kontrastaine kasutamisel neerupuudulikkusega patsientidel. Sternotoomiajärgsed traatlingud ei ole MRT-uuringu tegemise takistuseks, pärgarteritesse paigaldatud stentidega patsiente on soovitatav uurida üldjuhul paar nädalat pärast protseduuri (sõltub stendi materjalist).

Millised on südame MRT-uuringu näidustused?

Müokardi isheemia avastamine. Kui KT-uuring on kasutusel südame isheemiatõve käsitlemisel eelkõige pärgarterite seisundi hindamisel, siis MRT-uuringu eeliseks on võimalus hinnata südamelihase seisundit ehk otseselt visualiseerida pärgarteri stenoosi tagajärjel tekkivat müokardi kahjustust.

MRTs on müokardi isheemia avastamiseks kaks võimalust. Esimene võimalus on kuvada müokardi perfusiooni, manustades kontrastainet rahuolekus ja farmakoloogilisel koormusel adenosiiniga või dipüridamooliga. Adenosiini või dipüridamooli toimel normaalsed pärgarterid laienevad ja eriti suureneb intaktse verevarustusega müokardi perfusioon, stenootilise pärgarteri basseinis adekvaatset perfusiooni paranemist ei toimu. Perfusiooni defekt tuleb kujutisel nähtavale madalama intensiivusega alana. Farmakoloogilisel koormusel esile tuleb müokardi perfusiooni häire viitab müokardi isheemiale. Müokardi perfusiooni muutused on iseloomulikud isheemilise kaskaadi algstaadiumile (8, 9) ja tänu sellele võimaldab MRT nagu ka nuklearmeditsiini uuringud avastada müokardi isheemia selle kõige varasemas arengujärgus. Müokardi kontraktiilsuse häired ja EKG-muutused tekivad alles isheemia hilisemas arengujärgus. Hiljuti publitseeritud andmetel on selle meetodi tundlikkus isheemia avastamisel 87%, spetsiifilisus 85% (10).

Teine võimalus on avastada isheemia farmakoloogilise koormuse ajal tekkiva müokardi kontraktiilsuse häire visualiseerimise abil. Sel juhul on farmakoloogiliseks stressoriks dobutamiin. Kõigepealt hinnatakse müokardi kontraktiilsust rahuolekus. Uuringu teises etapis hinnatakse müokardi kokkutõmbeid dobutamiini doosi astmelisel suurendamisel. Dobutamiin suurendab müokardi kontraktiilsust, samas intensiivsema töö tegemiseks vajab müokard ka rohkem hapnikku. Hapnikuvaeguse tingimustes tekib müokardi vastava segmenti kontraktsioonihäire, mis viitab verevoolu häirumisele segmenti varustavas pärgarteris. Sel aastal avaldatud andmete järgi on MRT tundlikkus isheemia avastamisel dobutamiini koormusproovi tingimustes 88%, spetsiifilisus 85% (10).

Müokardi eluvõimelisuse hindamine.

Müokardi eluvõimelisuse hindamine on näidustatud eelkõige infarkti läbipõdenud südamepuudulikkusega haigetel, kellel müokardi revaskulariseerimise planeerimisel on kriitilise tähtsusega info selle kohta, kas on oodata ravijärgset kahjustatud müokardi segmenti funktsiooni paranemist või mitte (5). Teiste sõnadega, kas revaskulariseeriv ravi on patsiendile näidustatud või saab parema tulemuse saavutada medikamentoosse raviga. Sellele küsimusele saab edukalt vastata, kasutades MRT-uuringut, mis võimaldab otseselt visualiseerida infarkti ulatust ja seina võimalikku transmuraalset haaratust. Mitmed uurimistööd on kinnitanud, et müokardiinfarkti ulatus histoloogilisel preparaadil ja MRT-kujutisel on otseses korrelatsioonis (11), seega saab MRTd rakendada igapäevases kliinilises praktikas ning tulemused on usaldusväärsed. Uurimistöödest on selgunud, et kui magnetuuringul haarab infarkt rohkem kui 75% müokardi seina paksusest, siis selle segmenti kontraktiilsus suure tõenäosusega ei parane pärast revaskulariseerivat ravi ja konservatiivne ravi annab paremaid tulemusi võrreldes revaskulariseeriva raviga (12).

MRT-uuringu eeliseks on suur pehmete kudede eristusvõime, mis võimaldab avastada subendokardiaalseid infarkte ja hinnata nende täpset ulatust.

Müokardi eluvõimelisuse hindamise aluseks magnetuuringul on gadoliiniumi sisaldava kontrastaine kogunemine müokardi nekroosi- või fibroosialasse. See on ilmselt tingitud hiljuti tekkinud kahjustuse korral rakumembraanide terviklikkuse katkemisest ning vana kahjustuse korral avardunud ekstratsellulaarsest ruumist. Kontrastaine kogunemine kahjustunud koesse suurendab selle signaaliintensiivsust ja võimaldab otseselt visualiseerida mitte-eluvõimelist müokardi (vt jn 4).

Müokardiidi ja muu etioloogiaga müokardikahjustuste avastamine. Rindkerevaluga patsiendi käsitlemisel tulevad arvesse ka teised müokardi kahjustust põhjustavad haigused. Üheks sagedasemaks neist on müokardiit. MRT-uuringul kasutatava kontrastaine kogunemine kahjustunud müokardi on mittespetsiifiline ning seda esineb peale infarkti ka müokardiidi, kardiomiopaatiate, sarkoidoosi ja amüloidoosi korral. Kontrasteerumise muster on üldjuhul erinev, võimaldades omavahel eristada erineva etioloogiaga müokardikahjustusi. Näiteks saab MRT-uuringul eristada



Joonis 4. Südame MRT-uuringu tomograafiline pilt GE Signa HDX. 69aastaselt meespatsiendil tehti uuring müokardi eluvõimelisuse ja infarkti ulatuse hindamiseks. Patsient on läbi põdenud kolm müokardiinfarkti. MRT-kujutis vasakust vatsakesest hilise kontrasteerimisega (kujutis registreeriti 15 minutit pärast gadoliiniumi sisaldava kontrastaine süstimist). Sabaga nooled osutavad mittetransmuraalsele infarktile külgselinas, alaselinas ja alumises vahaselinas; noolte otsad osutavad intaktsele müokardile eesmisel selinas.

müokardiiti ja müokardiinfarkti, sest isheemilise kahjustuse korral tekib eelkõige müokardi sub-endokardiaalse osa kahjustus, seevastu müokardiidile on tüüpiline subepikardiaalne ja seinakeskosa kahjustus. Kardiomiopaatiate puhul saab MRTd rakendada müokardi kahjustuse ulatuse hindamiseks, dilatatiivse kardiomiopaatia puhul isheemilise geneesi välistamiseks või kinnitamiseks (13).

Nuklearmeditsiin

Müokardi perfusiooni SPET (*single photon emission tomography*)

Perfusiooni-stsintigraafia on edukalt kasutuses südame isheemiatõve diagnoosimisel ja prognoosi määramisel juba rohkem kui 20 aastat ning jääb siiani üheks põhiliseks müokardi mitteinvasiivset hindamist võimaldavaks meetodiks. Kuigi ka tänapäeval on võimalik registreerida nn planaarseid (tasapinnalisi) stsintigramme, kasutatakse viimasel ajal valdavalt tomograafilist uuringut SPET.

Müokardi perfusiooni SPETi teostamiseks süstitakse perifeersesse veeni radiofarmatseutikumi, mis koguneb südamelihasesse proportsionaalselt sellega, kui palju verd pärgarterid müokardi erinevatesse segmentidesse toovad.

Müokardi verevarustuse seisundi hindamisel on klassikaliseks radiofarmatseutikumiks talliumkloriid (^{201}Tl -kloriid). Didaktilistel eesmärkidel on talliumit hakatud nimetama kaaliumi bioloogiliseks analoogiks, mis siseneb müotsüütidesse nii passiivse kui ka aktiivse transpordi tagajärjel ning mille kogunemine müokardi sõltub nii perfusioonist kui ka rakkude eluvõimelisusest (rakumembraani terviklikkusest) ning interstitsiaalruumi seisundist. Sarnaselt kaaliumiga ei jää talliumkloriid südamelihaskudedesse, vaid väljub sealt ning eritub neerude kaudu. Talliumkloriidi kineetika südamelihases on müokardi seisundist: isheemilistes segmentides on see normaalsetega võrreldes aeglasem, mistõttu tundub, et isheemilised defektid nagu täitüksid 3–6 tunni jooksul pärast manustamist ning kvantitatiivsel analüüsil ilmneb kahjustatud müokardi puhul talliumkloriidi kineetika inhomogeensus. Talliumkloriidi kineetikat tuleb arvestada kujutiste salvestamise ajahetke valikul, mis klassikalisel juhul

on 10 minutit pärast manustamist rahuolekus või koormuse tipul.

Talliumkloriidist enam kasutatakse tänapäeval ^{99}Tc -ga märgistatud radiofarmatseutikume (^{99}Tc -tetrafosmiin ja ^{99}Tc -sestamib), sest need on paremini kättesaadavad ning salvestatavate kujutiste head kvaliteeti on kergem saavutada tänu nende suuremale gammakvantide energiale ning vähem väljendunud hajukiirgusele. Tänapäevase efektiivse kohaselt kogunevad need müotsüütide mitokondritesse passiivse transpordi tagajärjel, kogunemine sõltub nii müokardi perfusioonist kui ka eluvõimelisusest. ^{99}Tc -radiofarmatseutikumide ümberjaotumist organismis praktiliselt ei toimu. Tänu sellele kajastavad ka mitu tundi pärast manustamist registreeritud kujutised vahetut manustamisjärgset perfusiooniseisundit.

EKG sünkronisatsiooni kasutades saab hinnata müokardi funktsiooni: salvestada müokardi kujutised südamesükli eri faasides, hinnata müokardi kontraktiilsust ning arvutada vasaku vatsakese väljutusfraktsiooni.

Meetodi eeliseks on võimalus kasutada isheemia indutseerimiseks nii füüsilist koormust liikuvall rajal või veloergomeetril kui ka farmakoloogilist koormust adeniiniga või dipüridamooliga. Meetod ei ole vastunäidustatud neerukahjustusega patsientidel, sest manustatava talliumkloriidi ja teiste radiofarmatseutikumide kogused on üliväikesed. Oma enam kui paarikümneaastase kogemuse jooksul ei ole me kordagi täheldanud radiofarmatseutikumide kõrvaltoimeid.

Müokardi perfusiooni stsintigraafia toimub kahes osas. Esimeses faasis sooritab patsient koormustesti, koormuse maksimumi saavutamisel süstitakse veeni isotoopi sisaldav preparaat. Uuringu salvestamine toimub 1 kuni 4 tunni möödudes pärast ^{99}Tc -ga märgistatud radiofarmatseutikumi süstimist ja tulemus kajastab müokardi perfusiooni koormuse tipul. Sellele järgneb uue isotoobi annuse manustamine, mille kogunemine müokardi kajastab juba müokardi perfusiooni rahuolekus. Rahuoleku-kujutised registreeritakse 1 kuni 4 tundi pärast vastava diagnostikumi manustamist. See annab võimaluse võrrelda müokardi perfusiooni koormusel ja rahuolekus igas müokardi segmentis. Müokardi

isheemiale on iseloomulik perfusiooni vähenemine eelkõige koormusel, rahuolekus perfusioon paraneb. Pöördumatule müokardikahjustusele (infarktile) viitab müokardi perfusiooni halvenemine või puudus nii koormus- kui ka rahuoleku-uuringul.

Nagu magnetuuringul, saab ka SPET-uuringul avastada südamelihase isheemiat farmakoloogilise koormuse ajal tekkiva müokardi kontraktiilsuse häire visualiseerimise abil. Sellisel juhul toimub täiendav EKGga sünkroniseeritud kuvamine radiofarmatseutikumi manustamise ajal koormuse tipul ja rahuolekus ning hiljem võrreldakse kontraktiilsust nendel kahel kujutisteseerial.

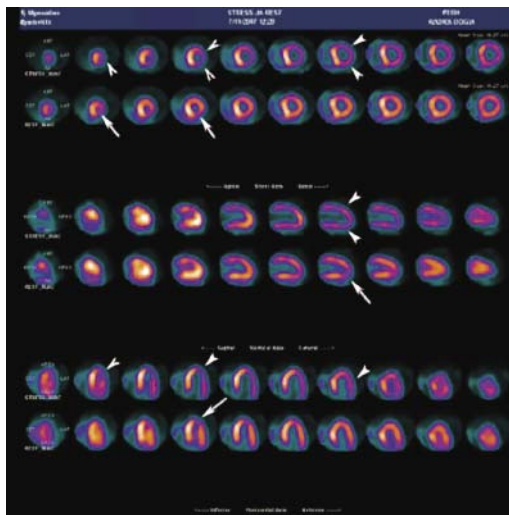
Sobiva koormuse valik on SPET-uuringu õnnestumise üheks võtmeküsimuseks, näiteks Hisi kimbu vasaku sääre blokaadi korral on eelistatud farmakoloogiline koormus, samas astmat põdeva patsiendi puhul peab adenosini kasutamisega olema äärmiselt ettevaatlik. Füüsilist koormust kasutades peab alati meeles pidama, et ainult maksimumilähedase pulsageduse saavutamisel on uuring isheemia avastamiseks täpne ja usaldusväärne. Kui füüsilise koormuse ajal selgub, et patsient ei ole võimeline maksimumilähedast pulsagedust saavutama, on soovitatav üle minna farmakoloogilisele koormusele, et uuringu tulemused oleksid võimalikult täpsed.

Müokardi perfusiooni SPET-uuringu tulemused on erinevad südamepuudulikkusega kulgeva südame isheemiatõve ja dilatatiivse kardiomiopaatia korral, mistõttu sellest meetodist võib olla abi nimetatud patsientide eristamisel.

Kellele tuleks teha müokardi perfusiooni SPET? Perfusiooni-stsintigraafia üheks oluliseks kasutusvaldkonnaks on isheemia avastamine ja selle ulatuse hindamine nii esmasel kui ka juba medikamentoosselt ravitud või revaskulariseeritud patsiendil (14) (vt jn 5).

Teiseks näiduseks on pärgarteri stenoosi hemodünaamilise tähtsuse ja/või ravivastuse hindamine (14). Näiteks on patsiendi huvides hinnata, kas angiograafial avastatud 50–70% suurune pärgarteri stenoos põhjustab müokardi isheemiat või mitte.

Müokardi perfusiooni SPETi kasutatakse kliinilise prognoosi hindamiseks: mida enam on kahjustunud perfusiooniga müokardi segmente ja



Joonis 5. Müokardi perfusiooni SPET kujutised kolmes projektsioonis. Igas projektsioonis on ülimalisel real koormuse tipul tehtud uuring (*stress*) ning alumisel real rahuolekus tehtud uuring (*rest*). Uuring tehti GE SPET/KT-kaameral Hawkeye 73aastasele meespatsiendile ebatüüpiliste valude tõttu rahuolekus rindkere piirkonnas. SPET-kujutised registreeriti 2 tundi pärast ^{99m}Tc -sestamibi süstimist füüsilise koormuse tipul liikuv al rajal ning 2 tundi pärast ^{99m}Tc -sestamibi süstimist rahuolekus. Rahuolekus on täheldatav müokardi perfusiooni suhteline vähenemine lateraalseinas apikaalsel (sabaga nooled). Koormuse tipul on täiendavalt näha koormusest põhjustatud isheemiale viitavat müokardi perfusiooni suhteline vähenemine ees-, külj- ja alaseinas (noolte otsad).

mida sügavam on kahjustus, seda tõenäolisem on uute kardiovaskulaarsündmuste teke, seda halvem eeldatav elukvaliteet, seda suurem on selliste patsientide suremus.

Järgmiseks müokardi perfusiooni SPETi näidustuseks on müokardi eluvõimelisuse määramine, seda eelkõige südamepuudulikkusega patsientidel, kus otsustava tähtsusega on, kas revaskulariseeriv operatiivne ravi viib müokardi funktsiooni ning patsiendi prognoosi paranemiseni või mitte (14). Sellisel juhul kasutakse sageli nitroglütseriinipreparaate, et parandada müokardi verevarustust ja anda veelgi täpsem vastus müokardi eluvõimelisuse kohta.

Perfusiooni-stsintigraafia üheks puuduseks võivad olla artefaktid, mis tekivad pehmetest kudedest ja mis segavad kujutiste tõlgendamist. See probleem sai lahenduse SPET/KT tomograafide kasutuselevõtmisega, kus KT-kujutisi kasutatakse neeldumise korrigeerimiseks ja seetõttu vähenevad pehmetest kudedest tekkivad moonutused.

Positronemissioontomograafia

Müokardi uurimiseks PETi abil on Eestis praegu kättesaadav ainult ^{18}F -fluoro-2-deoxy-D-glükoos (^{18}F -FDG). ^{18}F -FDG on glükoosi analoog, mis koguneb müokardi rakkudesse sarnaselt glükoosiga, kuid jääb sinna, metaboliseerumata glükoosile omaselt. Seega on ^{18}F -FDG müotsüütide metabolismi näitaja.

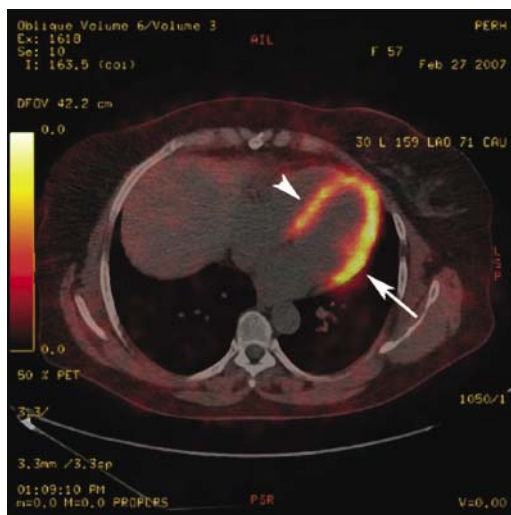
Põhiliseks ^{18}F -FDG-PET uuringu näidustuseks on müokardi eluvõimelisuse hindamine, mida peetakse mitteinvasiivse uurimise kuldstandardiks (15).

Müokardi ^{18}F -FDG-PET uuring tehakse kas *insuline clamp* tingimustes või tavaliselt peroraalse glükoosi koormuse foonil. Nimelt selleks, et südamelihase energeetiline metabolism oleks lülitunud glükoosi ja mitte rasvhapete tarbimisele, antakse patsiendile uuringu eel suu kaudu 50–100 g glükoosi.

Oluliseks täienduseks oli PET/KT hübriidseadmete väljatöötamine, tänu millele on võimalik ühe uuringu jooksul kasutada nii KT võimalusi koronaararterite patoloogia väljaselgitamiseks kui ka PET võimalusi hinnata müokardi metabolismi ja seega eluvõimelisust (16). Teiste sõnadega, hinnata nii ateroskleroosi ulatust kui ka südamelihase kahjustuse astet. Näide müokardi perfusiooni PET/KT uuringust on esitatud joonisel 6.

Soovitused meetodite valikuks

• **Koronaarhaiguse avastamiseks** on soovitatav kasutada kas **KT-uuringut** pärgarteri stenoosi visualiseerimiseks või **SPET- ja MRT-uuringut** müokardi perfusiooni hindamiseks (5, 14). KT-uuringut on soovitatav kasutada eelkõige südame isheemiatõve välistamiseks, sest normaalne leid KTs välistab koronaarhaiguse 95–100% tõenäosusega (1). Siinkohal vajab veel kord rõhutamist, et KT-uuring pärgarteri stenoosi avastamise eesmärgil on näidustatud keskmise koronaarhaiguse tõenäosusega patsientidel, s.t tavaliselt atüüpilise rindkerevaluga patsientidel, kellel on vaja eristada, kas rindkerevalu on põhjustatud pärgarterite stenoosist või mitte. Tüüpilise rindkerevaluga patsiendi pärgarterite hindamise



Joonis 6. Esimene Eestis registreeritud PET-KT kujutis vasaku vatsakese müokardist. Uuring tehti GE PET/KT-kaameral Discovery VCT 57aastasele naispatsiendile ebatüüpilise rindkerevalu tõttu. PET-kujutised registreeriti 1 tund pärast ^{18}F -FDG süstimist rahuolekus. Kujutisel on näha eluvõimeline müokard kõigis vasaku vatsakese segmentides. Lateraalseina (sabaga nool) metaboolne aktiivsus on vaheseinast (noole ots) suurem.

esmavaliku meetodiks on invasiivne angiograafia (selektiivne koronarograafia).

- Invasiivsel või KT koronarograafial avastatud **pärgarteri stenoosi hemodünaamilist tähtsust** ja selle tagajärjel tekkinud **müokardi kahjustust** võimaldavad hinnata **SPET- ja MRT-uuringud**.
- **Müokardi eluvõimelisuse** hindamiseks on võimalik kasutada nii **MRT-uuringut** kui ka müokardi **SPET- ja PET-uuringut** (5, 14). Sobiva meetodi valik sõltub nii konkreetsest patsiendist kui ka aparatuuri kättesaadavusest. Kõikide uurimismeetodite kättesaadavuse puhul on soovitatav kasutada **MRT-uuringut** eelkõige suure eristusvõime ja väikese kiirguskoormuse tõttu. Kui võrrelda **MRT- ja SPET-uuringuid**, siis tunduvalt parema lahutusvõime tõttu on subendokardiaalsete infarktide avastamine ja infarkti transmuraalse ulatuse määramine täpsem **MRT-uuringul** (17). Samas ei saa magnetuuringut kasutada kardiosimulaatoriga või klaustrofoobiaga patsientidel ning neerupuudlikkusega patsientidel peab olema ettevaatlik gadoliiniumit sisaldavate kontrastainete manustamisel kõrvaltoimete ohu tõttu.
- **Koronaaršuntide läbitavuse** hindamiseks

on esmavaliku meetodiks **KT**. Revaskulariseeritud patsiendi müokardi isheemia avastamiseks ja ulatuse hindamiseks on soovitatav kasutada **SPET**-uringut.

• **Müokardiidi ja müokardiinfarkti eristamisel** on esmavaliku meetodiks **MRT** ja **KT**. MRT eeliseks on müokardi kahjustuse hindamine – infarkti ja müokardiidi puhul on müokardi kahjustuse muster erinev. Samas võimaldab KT välistada pärgarteri stenoosi. Rindkerevaluga ja suurenenud kardiospetsiifiliste markeritega patsientidele, kellel angiograafia ei näidanud olulist pärgarteri stenoosi, on näidustatud MRT-uring (5).

Kokkuvõte

Lähiminevikus on Eestis muutunud kättesaadavaks mitmed uued nüüdisaegsed kuvamismeetodid, mis või-

maldavad mitteinvasiivselt hinnata koronaarartereid ja müokardi. Uurimismeetodite eduka kasutamise võtmeks on valida õige patsient, kelle puhul oleks kasu mitteinvasiivsete uurimismeetodite kasutamisest. Kuvamismeetodite valik on lai, samas igale patsiendile sobivat universaalset uurimismeetodit ei ole, seega on iga meetodi näidustuste, tugevate ja nõrkade külgede teadmine esmatähtis sobiva meetodi valikuks või meetodite kombineerimiseks konkreetse kliinilise situatsiooni lahendamisel. Seetõttu on äärmiselt oluline raviarsti ja radioloogi tihe koostöö, et valida sobiv uurimismeetod ning arutada pärast uuringutulemusi konkreetse patsiendi kontekstis. Sellisest koostööst võivad mõlemad osapooled ning kindlasti võidab ka patsient, kelle käsitlus muutub optimaalseks.

Kirjandus

1. Achenbach S. Computed tomography coronary angiography. *JACC* 2006;1919–28.
2. ACCF/AHA. Coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain. *J Am Coll Cardiol* 2007;49:378–402.
3. American College of Cardiology/American Heart Association. Expert consensus document on EBCT for diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *Circulation* 2000;102:126–40.
4. Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ, et al. Usefulness of multislice computed tomography for detecting obstructive coronary disease. *Am J Cardiol* 2002;89:913–8.
5. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006. Appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1475–97.
6. Attili AK, Cascade PN. CT and MRI of coronary artery disease: evidence-based review. *AJR* 2006;187:S483–S499.
7. Berman SD, Hachamovitch R, Shaw LJ, et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: assessment of patients with suspected coronary artery disease. *J Nucl Med* 2006;47:74–82.
8. Poldermans D, Bax JJ. Selecting optimal non-invasive cardiac imaging stress test in intermediate risk patients using cost effectiveness analysis. *Eur Hear J* 2006;27:2378–9.
9. Leong-Poi H, Rim S-J, Le DE, et al. Perfusion versus function: the ischemic cascade in demand ischemia. *Circulation* 2002;105:987–92.
10. Mahrholdt H, Klem I, Sechtem U. Cardiovascular MRI for detection of myocardial viability and ischemia. *Heart* 2007;93:122–9.
11. Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 2000;343:1445–3.
12. Selvanayagam JB, Kardos A, Francis JM, et al. Value of delayed-enhanced cardiovascular magnetic resonance imaging in predicting myocardial viability after surgical revascularization. *Circulation* 2004;110:1535–41.
13. Edelman R. Contrast-enhanced MR imaging of the heart: overview of the literature. *Radiology* 2004;232:653–68.
14. ACCF/ASNC. Appropriateness criteria for single-photon emission computed tomography myocardial perfusion imaging (SPECT MRI). *J Am Coll Cardiol* 2005;46:1587–605.
15. Schuif JD, Poldermans D, Shaw LJ, et al. Diagnosis and prognostic value of non-invasive imaging in known or suspected coronary artery disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2006;33:93–104.
16. Bax JJ, Beanlands RS, Klocke FJ, et al. Diagnostic and clinical perspectives of fusion imaging in cardiology: is the total greater than the sum of its parts. *Heart* 2007;93:16–22.
17. Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, et al. Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet* 2003;361:374–9.

Summary

Contemporary cardiac imaging for management of coronary artery disease

Development of cardiac imaging has empowered clinical practice with powerful tools for the management of coronary artery disease (CAD). While stress ECG, echocardiography and invasive coronary angiography maintain their well established positions in daily routine, a number of contemporary cardiac imaging methods reveal new horizons for minimally or non-invasive diagnosis of patients with coronary artery disease. This article gives a short overview of the role of coronary CT angiography (CTA), cardiac MRI, and nuclear medicine studies (hybrid single photon emission tomography with CT - SPET/CT and hybrid positron emission tomography with CT - PET/CT) in patients with different probabilities and forms of coronary artery disease. Based on our recent experience the advantages of each technique are reviewed and recommendations are given for appropriate use of any of these methods in our clinical settings.

In patients with **suspected CAD** the pretest probability of disease is the most important factor in selection of the imaging modality. CTA, MRI and SPET techniques are mostly recommended for patients with intermediate pretest probability of CAD. CTA provides information about coronary artery wall, lumen and plaque composition and enables reliable detection of significant coronary artery stenosis. Due to a very high negative predictive value, the major impact of CTA in the management of suspected CAD lies in reliable elimination of the possibility of coronary artery stenosis. MRI and SPET are useful techniques for detection of myocardial perfusion abnormalities, enabling early detection of stress-induced ischaemia. For patients with high pretest probability of CAD (with typical chest pain) invasive coronary angiography remains the initial method of choice.

In patients with **known CAD** myocardial SPET is recommended for the assessment of myocardial perfusion abnormalities and patient prognosis. In this group the high proportion of patients with extensive calcified coronary plaques complicates the accurate

assessment of coronary artery stenosis in CTA. However, CTA enables reliable visualization of coronary bypass grafts, thus providing reliable detection of significant stenosis or graft occlusion and is the method of choice for this indication.

Myocardial perfusion SPET and MRI are recommended to assess **haemodynamic significance** of coronary artery stenosis defined by CTA or invasive coronary angiography, because the presence of obstructive coronary artery lesion does not always result in myocardial ischemia.

For **viability assessment** and **prognostic evaluation** MRI, SPET and PET are valuable techniques. They are particularly useful for identifying patients who would benefit most from revascularization. MRI is recommended due to its high spatial resolution that enables to detection of subendocardial infarcts and assessment of the transmural extent of myocardial damage. PET enables evaluation of myocardial metabolism and is considered a non-invasive "gold standard" for assessment of myocardial viability.

The role of SPET and PET in the management of CAD is emphasized in patients with renal impairment, because these techniques do not assume any use of nephrotoxic contrast agents.

The integration of PET and CT techniques (hybrid PET/CT technology) provides an opportunity for defining the anatomic extent of coronary atherosclerosis and for evaluating myocardial damage during single examination.

CTA, MRI, SPECT and PET techniques occupy an important position in the diagnostic work-up of patients with known or suspected CAD either by revealing the degree and location of stenosis or by assessing myocardial perfusion abnormalities and consequent myocardial damage. For the optimal benefit of the patient, close collaboration between imaging specialists and cardiologists remains an ultimate necessity.

andrei.samarin@regionaalhaigla.ee