

Nem invazív coronaria-angiográfia sokszeletes komputertomográfiával

Préda István, Kerecsen Gábor, Maurovich-Horvat Pál

A szerzők a sokszeletes coronaria-CT-angiográfia diagnosztikus lehetőségeit, az alkalmazás módszereit, valamint a módszertani nehézségeket foglalták össze közleményükben.

A CT-angiográfia a jelenleg elérhető korszerű, 16–64 szeletes technológia alkalmazásával lehetővé teszi a szív és a koszorúerek pontos, nem invazív vizsgálatát. Diagnosztikus palettájának jelenleg legfontosabb eleme a coronariabetegség kizárása közepes valószínűségű ischaemiás szívbetegség (atípusos mellkasi fájdalom) esetén (negatív előrejelzési értéke: 97–99%). Negatív vizsgálat esetén az ischaemiás szívbetegség gyanúja egy nem invazív, ambuláns vizsgálat segítségével minimalizálható. Más fontos diagnosztikus területek: a coronaria-bypassműtétet követő betegkövetés, a coronariaanomáliák pontos diagnosztizálása, a szív és nagyerek egyidejű vizsgálata.

A multislice-CT-angiográfia legközelebbi fejlesztési célja a coronariaplakk jellemzőinek vizsgálata, kiváltképp a sérülékeny plakk felismerése. A vizsgálat sugárterhelése alacsony (7–13 mSv), összemérhető az invazív koronarográfia során alkalmazott dózissal.

sokszeletes coronaria-CT-vizsgálat, invazív koronarográfia, coronariakalcifikáció, coronariaplakk, sugárterhelés

NON-INVASIVE CORONARY ANGIOGRAPHY BY MULTISLICE COMPUTED TOMOGRAPHY

This review summarizes the diagnostic spectrum, ways of application and methodological difficulties of multislice computed tomographic (MSCT) coronary angiography.

The non-invasive assessment of cardiac and coronary anatomy is now possible with computed tomographic coronary angiography using the modern 16 to 64-slice technology. This technique finds its main use today in the screening of patients with moderate probability of having coronary artery disease (atypical chest pain). Its negative predictive value varies between 97% and 99%, thus, a negative result of this non-invasive outpatient procedure can reduce the possibility of coronary artery disease to the minimum. Other important diagnostic applications include the follow-up of patients with coronary artery bypass, accurate diagnosis of coronary artery anomalies, and the simultaneous examination of the heart and great vessels.

The future development of the technique is directed to coronary plaque characterization, particularly the detection of vulnerable plaques. The radiation exposure is relatively low (7–13 mSv), comparable with that of invasive coronary angiography.

multislice coronary computed tomography (MSCT), invasive coronary angiography, coronary calcification, atherosclerotic plaque, radiation exposure

dr. Préda István (levelező szerző/correspondent), dr. Kerecsen Gábor: Országos Gyógyintézeti Központ, Kardiológiai és Belgyógyászati Osztály/National Medical Center, Department of Cardiology and Internal Medicine; Pozitron Diagnosztikai Kft., Budapest/Pozitron Diagnostic Ltd., Budapest

H-1135 Budapest, Szabolcs u. 35. E-mail: preda@ogyik.hu

dr. Maurovich-Horvat Pál: Semmelweis Egyetem, Cardiovascularis Centrum/Semmelweis University, Cardiovascular Center; Budapest

Érkezett: 2007. március 23. Elfogadva: 2007. június 10.

Az artériás behatoláson keresztül szívkatéteres módszerrel végzett invazív koronarográfia standard eljárás a koszorúér-betegség pontosabb diagnosztikájában és a percutan coronariainterenciával (PCI) vagy bármely szívsebészeti módszerrel végzett beavatkozás tervezésében és előkészítésében. A vizsgálati szövődmények aránya viszonylag alacsony (1,8%), azonban nem elhanyagolható, hogy életet veszélyeztető komplikációk is előfordulnak (stroke, coronariadissectio), és a halálozás a nagy statisztikák szerint 0,1% (1). Mindezek alapján invazív koronarográfia csak szigorú klinikai indikáció alapján végezhető (2), a vizsgálat kényelmetlen, jelenleg hazánkban hospitalizációval jár. Németországi statisztikai kimutatások alapján az összes elvégzett koronarográfiai vizsgálat mintegy 30–40%-a von maga után valamilyen invazív, műtéti beavatkozást, a fennmaradó 60–70%-ban a beavatkozás diagnosztikus célból történik (3).

Éppen ezért a koszorúereket megbízhatóan ábrázoló nem invazív vizsgálat – a sokszeteles CT- (multislice CT – MSCT) berendezések megjelenésével – vonzó lehetőség a klinikai kardiológia számára. A vizsgálat tulajdonképpen röntgenkontrasztanyag adása mellett a coronariák CT-angiográfiai vizsgálatát jelenti, amely ambuláner fél óra alatt elvégezhető, alig zavarja meg az egyén normális életvitelét, és eredménye alapján nagy biztonsággal (97–99%) kizárható a PCI-t vagy sebészeti revascularisatiót igénylő koszorúér-betegség. Mindemellett egyszerű és pontos, megnyugtató a vizsgálandó személynek és orvosának, ugyanakkor általa felszabadul a szívkatéteres laboratóriumok kapacitása a szükséges terápiás beavatkozások számára (4, 5). Az MSCT-coronaria-angiográfia jelenlegi, a szerzők által javasolt potenciális indikációit és ellenjavallatait foglalja össze az 1. táblázat (6–8). Tekintettel a CT-technológia rohamléptekkel zajló fejlődésére, valamint arra, hogy folyamatosan újabb és újabb tudományos vizsgálatok látnak napvilágot klinikai alkalmazására vonatkozóan is, a fenti táblázat csak pillanatképként mutatja a jelenleg elfogadott alkalmazások palettáját. Az elkövetkező években, sőt, hónapokban feltehetően bővül a vizsgálat indikációs köre.

A számítógépes rétegvizsgálat (computer tomography – CT) elsődlegesen Hounsfield és McCormack munkái alapján került orvosi alkalmazásra, amelyért a két kutató 1979-ben Nobel-díjban részesült. Ekkor egy rétegvizsgálat felvételi ideje órákig, majd a processzáls is több napig tartott. 1990-ben az első spirál-CT bevezetésével lehetővé vált a digitális adatok folyamatos felvétele is. Ennek lényege, hogy felvételezés közben a beteg saját hossz tengelye mentén, az axiális irányban folyamatosan mozog a detektoregység (szkenner) alatt. 1998-ban jelent meg az első többszeteles spirál-CT (MSCT), amelyben a 360°-ban körben forgó leképezőegység (gantry) már valódi háromdimenziós képprocesszállást tett lehetővé (1. ábra).

A jelenleg a kardiológiai diagnosztikában alkalmazott, nagy teljesítményű, szubszekundumos leképezési idejű rendszerek öse az elektronsugaras CT (electron beam computer tomography, EBCT) volt, amelyben a beteg szívéről készített natív szeletek alapján a koszorúerekben elkülöníthető, magas denzitású kalciumdepozitumokat írtak le Hounsfield-egységek (HE) segítségével. Ezek térfogatának meghatározásával úgyneve-

1. TÁBLÁZAT

A coronaria multislice CT-angiográfia lehetséges indikációi és ellenjavallatai az Amerikai Kardiológia Kollégium szakmai ajánlása alapján, a szerzők által módosítva (7, 8)

Indikációk

A coronariabetegség kis, illetve közepes valószínűsége mellett és mellkasi panaszok esetén,

- ha a terheléses vizsgálat értékelhetetlen vagy nem diagnosztikus,
- ha a nem invazív vizsgálati eredmények egymásnak ellentmondóak,
- ha nem végezhető ischaemiaprovokációs vizsgálat.

Ha coronariafejlődési rendellenesség gyanúja áll fenn.

Komplex congenitalis vitium esetén, a bonyolult üregi, coronaria-, illetve billentyűabnormitások pontos feltérképezésére.

Új keletű szívelégtelenség etiológiájának tisztázására.

Elektrofiziológiai beavatkozások előtt (biventricularis pacemaker, pitvarfibrilláció ablatiós kezelése) az anatómiai viszonyok feltérképezésére.

Ismételt szívműtét tervezéséhez.

Üregi, illetve pericardialis patológia gyanúja esetén, ha nem végezhető jó minőségű TEE- vagy MR-vizsgálat.

Sikertelen vagy nem elvégezhető invazív koronarográfia esetén.

Akut mellkasi fájdalom és közepes cardiovascularis rizikó, negatív enzimek esetén.

Egyéb indikációk (még további tudományos vizsgálatok szükségeseik)

Közepes cardiovascularis rizikó, mellkasi panaszok esetén az első kivizsgálás részeként.

Akut mellkasi fájdalom és nagy cardiovascularis rizikó fennállásakor.

PCI után, panaszok esetén.

CABG után, panaszok esetén.

Nem cardialis műtét előtti kivizsgálás esetén közepes cardiovascularis rizikó mellett.

Nagy cardiovascularis rizikójú, panaszmentes betegnél ISZB kimutatására.

Ellenjavallatok

Ha nem alkalmazható jódos kontrasztanyag vagy sugárterhelés.

Béta-receptor-blokkoló ellenjavallata esetén (ha magas a nyugalmi pulzusszám).

Komplex supraventricularis vagy ventricularis arrhythmia fennállásakor.

Súlyos obesitas esetén.

CABG: coronary artery bypass grafting – coronaria-bypassműtét; ISZB: ischaemiás szívbetegség; PCI: percutan coronary intervention; TEE: transoesophagealis echokardiográfia

zett kalciumscore-t (kalciumpontszámot) vagy Agatston-score-t számoltak, így kvantifikálva a coronariában található meszes plakkokat (9). Ezt a „calcium scoring” módszert Agatston fejlesztette ki, és jelenleg is használatos. Mára az EBCT-berendezéseket felváltották a mindennapi klinikai gyakorlatban a valódi a coronaria-CT-angiográfia végzésére alkalmas multislice berendezések, amelyek szintén lehetővé teszik a coronariák kalciumtartalmának kvantitatív vizsgálatát.

A coronaria-CT-angiográfia technikai részletei

A coronariák vizsgálata során intravénás röntgenkontrasztanyag adása után a szívről EKG-szinkronizált, spirál-CT-angiográfiát készítünk (6). A koszorúerek vizsgálatára szolgáló CT-berendezések technikai követelményei magasabbak, mint amilyenek általában a szív egyéb struktúrái vagy a mellkasban elhelyezkedő nagyerek vizsgálatánál használatosak. A CT-kép-alkotás a kisméretű, folyamatosan mozgó coronariák miatt magas térbeli és időbeli felbontású kell hogy legyen, és a vizsgálat a légzésvisszatartás szükségessége miatt maximum 25–30 s alatt be kell fejeződjön. Ezt egyrészt az egy időben elkészült szeletek számának növelésével (több detektor), másrészt a gantry rotációs sebességének növelésével lehetett elérni. A 2–3 mm átmérőjű, folyamatosan mozgó coronariák megbízható leképezéséhez szükséges térbeli és időbeli felbontóképességet először a jelenlegi 16 szeletes CT-készülékekkel érték el. A fejlesztések során a térbeli felbontás a számítástechnikai igény növekedése mellett is csak valamelyest javult. A 64 szeletes készülék használata esetén a gyorsabban lezajló vizsgálat miatt kevesebb kontrasztanyagot kell adni, és rövidebb légzésvisszatartásra van szükség, szélesebb szívfrekvencia-tartományban lehet értékelhető vizsgálatot végezni.

EKG-kapuzás, felvételezési idő

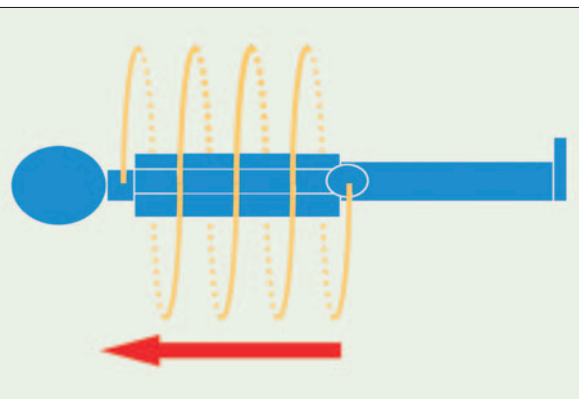
A szeletekkel dolgozó CT-berendezés nem egy időben rögzíti a koszorúerek különböző szakaszait, ezért fontos, hogy a coronariarendszer rekonstrukciója során a szív ciklus azonos időpontjaiban felvett részelemek kerüljenek „illesztésre”. Erre szolgál az EKG-kapuzás módszere (6). A szív ciklus időtartama alatt az elmozdulás a késő diasztolé időtartama alatt a legkisebb (az EKG P-hullám előtti periódusa). A jelenlegi CT-készülékekkel általában retrospektív, azaz utólagos kapuzást végzünk, azaz utólag választjuk ki a legjobban értékelhető időszakot, és az ez alatt készült képek alapján értékeljük a koszorúerek állapotát. A beteg sugárterhelését csökkentjük, ha az EKG-kapuzást prospektíve végezzük, azaz csupán a szív ciklusban előre meghatározott szeletek kerülnek rögzítésre. Az ilyen antegrád EKG-kapuzásnak azonban az a hátránya, hogy a diasztolés szeletek nem kielégítő képminősége esetén

RÖVIDÍTÉSEK

CT: komputertomográfia.
 MSCT (MDCT): multislice (multidetektoros) CT – sokszeletes CT.
 DSCT: dual source (két sugárforrású) CT.
 EBCT: electron-beam CT – elektronsugaras CT.
 CAD: coronary artery disease – coronariabetegség.
 PCI: percutaneous coronary intervention – percutan koszorúér-intervenció.
 HE: Hounsfield-egység
 MPR: multiplanáris rekonstrukció.
 MIP: maximális intenzitású projekció.

1. ÁBRA

Az egyszzeletes és többszeletes spirál-CT elve. Amíg a vizsgált beteg teste a fej irányában elmozdul, több, jelenleg akár 64 detektorsor képezi le a digitális jelet, amelyet a számítógép a térben rekonstruál

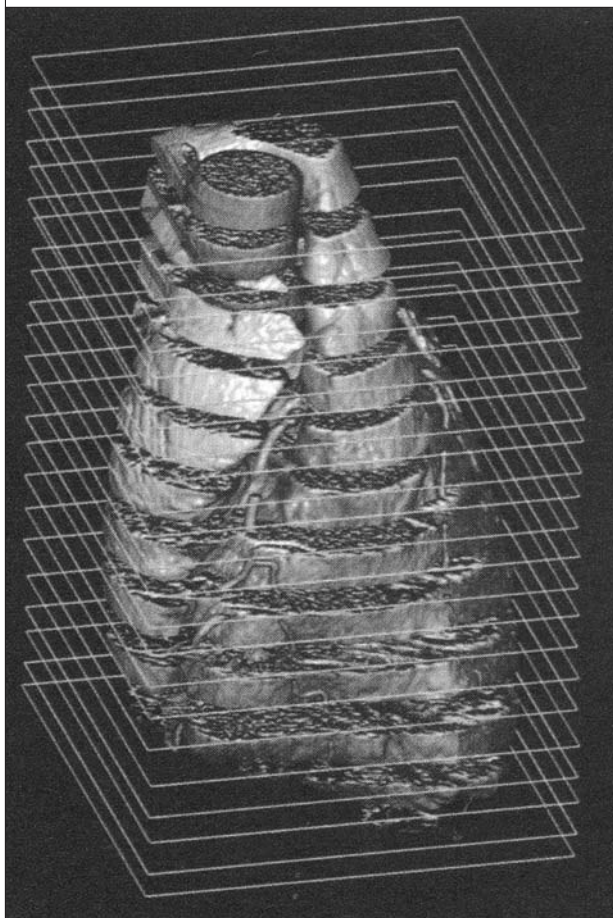


a felvett szív ciklus más szegmenseinek utólagos értékelésére (rekonstrukciójára) már nincs lehetőség. A jelenleg alkalmazott 16–64 szeletes MSCT-vizsgálatokkal csak sinusrhythmusban lévő betegnél van lehetőség megfelelő minőségű felvételek készítésére, az irreguláris szívtevékenység (pitvarfibrilláció, gyakori vagy multifokális extraszisztolék) lehetetlenné teszi a megfelelő képalkotást. A jó minőségű felvétel érdekében előnyös, ha a beteg pulzusszáma 65/perc alatt van (10); 70/perc frekvencia felett a rekonstruált szeletek képminősége erősen romlik. Ennek érdekében, amennyiben nincs ellenjavallata, a beteg a vizsgálat előtt per os (50–100 mg) vagy intravénás (5–15 mg) metoprololt kap. A felvételezést megelőzően gyakran alkalmazunk nitroglicerint (aeroszol formájában), amely coronariadilatációt okoz, így segítve az ép coronariaszegmensek vizualizációját.

A coronaria-CT-angiográfia legfontosabb feladata a coronariabetegség kizárása közepes valószínűségű ischaemiás szívbetegség – atípusos mellkasi fájdalom – esetén.

2. ÁBRA

Horizontális CT-felvételek sorozata, amelyek egyben valamennyi, a későbbi rekonstrukcióhoz szükséges információt is tartalmaznak



A felvételek képminősége

Időbeli felbontás

Az időbeli felbontóképesség az az időintervallum, amely egyetlen szelet leképezéséhez szükséges. Nem mozgó testrész leképezésekor ennek tulajdonképpen nincs jelentősége. Mozgó tárgy esetén úgy működik, mint egy hagyományos fényképezőgép, ahol a felvételi idő akkor ideális, ha minél rövidebb. A spirál-CT esetén ezt az időbeli felbontást meghatározza a „gantry”, azaz a forgó felvételezőegység körbefordulásának időtartama (rotációs idő), valamint a képrekonstrukciós algoritmus. A gantry rotációs ideje a jelenleg használt MSCT-készülékek esetében, a gyártótól függően 0,33–0,5 másodperc. Egy tomografikus szelet felvételéhez a gantry fél fordulata is elegendő, így a ma széles körben elterjedt MSCT-berendezések maximális időbeli felbontóképessége 165–250 ms. A képminőség a „mozgó tárgy”, azaz a szív mozgásának lassításával javítható. Ezt a célt valósítjuk meg a béta-receptorblokkoló előzetes (per os vagy intravénás) adásával.

Újabb lehetőség az időbeli felbontás növelésére és így a képminőség javítására, ha a vizsgálat két darab,

egymással 90°-os szöget bezáró sugárforrástetektorpárral, azaz tulajdonképpen két szimultán működő 64 szeletes CT-berendezéssel történik. Ez a két forrásból történő (dual-source) felvételezési mód duplájára növeli az időbeli felbontást. Ez esetben irreguláris szívritmus (például pitvarfibrilláció) mellett is értékelhető képeket rögzíthetünk (11).

Térbeli felbontás

Nem kellő térbeli felbontás az egyes struktúrák széli részeinek elmosódottságát eredményezi, azaz a kép „zavaros”, az egyes részletek hovatartozása vitatható. A klinikai gyakorlat számára fontos, 1–5 mm-es átmérőjű koszorúérszakaszok vizsgálatához szükséges térbeli felbontóképesség tizedmilliméteres nagyságrendű, amely csak a többszeletes CT-berendezésekkel érhető el. A 16–64 szeletes multidetektoros CT-k valódi térbeli képeket készítenek, így itt a felbontást nem kétdimenziós pixel, hanem háromdimenziós voxelek méretének meghatározásával érdemes vizsgálni. A 16 szeletes CT maximális felbontóképessége 0,7 mm-es élhosszúságú kockákkal, míg a 64 szeletes készüléké, gyártótól függően, 0,5–0,6 mm-es voxelekkel jellemezhető.

Kontrasztfelbontás

A kontrasztfelbontás az egymás mellett lévő és különböző sugárelnyelő képességű szövetek, illetve a kontrasztanyag egymástól történő elkülönítésének mértéke, amelyet számos körülmény (például a detektor érzékenysége, a beteg testtömege, az alkalmazott radiáció mértéke, a szeletvastagság, a képrekonstrukció és -szűrés) befolyásol. A kontrasztfelbontás magas denzitású tárgyak (pacemaker-elektrodák, mechanikus billentyűk, sebészi bypass „klipek” vagy a sternumot záró fémkapcsok) jelenlétében sérülhet és műtermékek (artefaktumok) jöhetnek létre. A mindennapi gyakorlatban a meszes plakkok által előidézett műtermékek jelentik a legfontosabb problémát, amelyek súlyos coronariameszesedés esetén limitálják a vizsgálat érzékenységét.

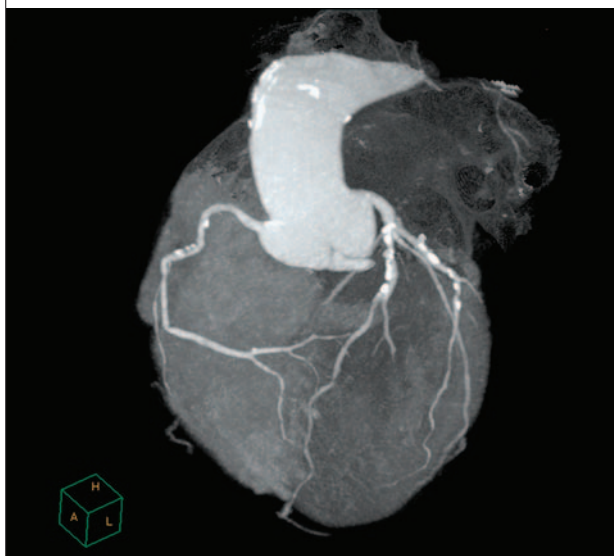
A felvételek kiértékelésének módszerei – posztprocesszálas

Horizontális képek sorozata

A CT-vizsgálat során rögzített adatokból a számítógép által rekonstruált horizontális képszeletek valamennyi később felhasználható képi információt tartalmaznak (2. ábra). Ezen képsorozat craniocaudalis irányú megtekintése lehetővé teszi a szív struktúráinak, így a coronariák eredésének és lefutásának áttekintő vizsgálatát, és ez minden MSCT-koronarográfia értékelésének alapját kell, hogy jelentse. Ugyanakkor, az artériák bonyolult lefutása miatt ezeknek a képeknek a pontosabb interpretációja nehézkes lehet. A több síkban (hori-

3. ÁBRA

Frontális síkú maximális intenzitású projekció (MIP)



zontális, sagittális és frontális) végzett rekonstrukció (multiplanáris rekonstrukció) rutinfeladata a képek kiértékelésének.

Multiplanáris rekonstrukció

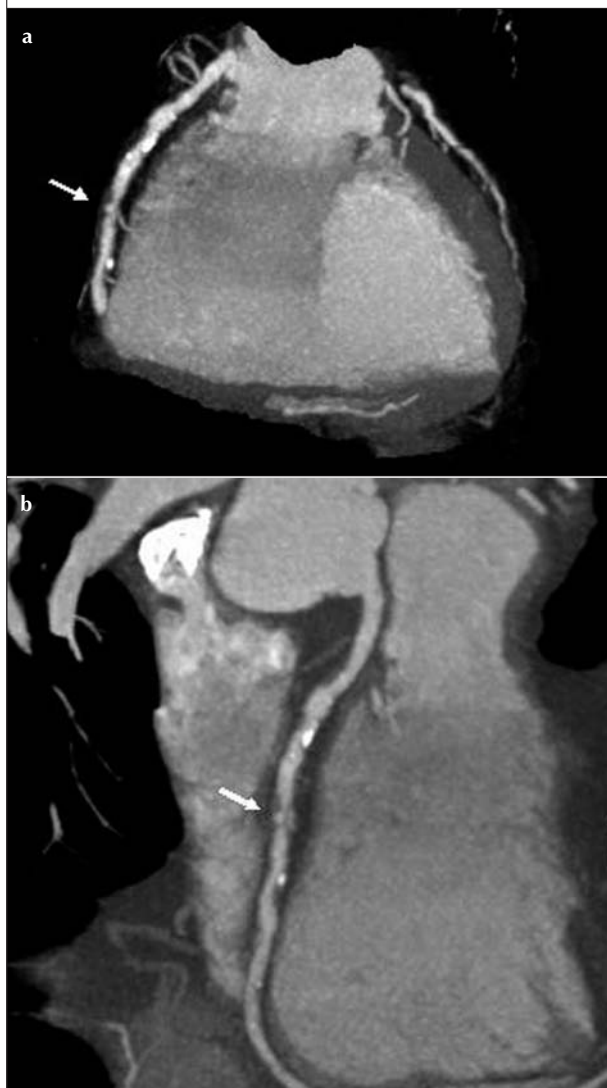
A multiplanáris rekonstrukció (MPR) során meghatározunk egy tetszőleges síkot a háromdimenziós leképezett térfogatban, és az ezen a síkon található voxelek (képelemek) kerülnek kétdimenziós (planáris) megjelenítésre. Megkülönböztetünk úgynevezett maximális intenzitású képeket (maximal intensity projection – MIP), amelyek az MPR-képekhez hasonlóan tetszőleges orientációjú kétdimenziós képek, amelyeken a felhasználó által választott rétegvastagságból szelektíven a legmagasabb denzitású voxelek jelennek meg. Ezek a képek leginkább az angiográfiai felvételekhez hasonlítanak (3. ábra). A MIP-felvételek kiválóan alkalmasak a coronariaartériák, valamint egyéb lágyrész-elemek, így a myocardium elkülönítésére. A MIP-megjelenítés hátránya, hogy a magas kontrasztdenzitás beárnyékolhatja az alacsonyabb sűrűségű területeket, amely kiváltképp zavaró, ha egyidejű coronariakalcifikáció is fennáll. Ezt a problémát a rétegvastagság csökkentésével ellensúlyozhatjuk.

Kanyarodó (curved) multiplanáris rekonstrukció

A multiplanáris rekonstrukció speciális formája a curved (kanyarodó) multiplanáris rekonstrukció (cMPR). Ezt elsősorban a coronariaartériáknak az eredéstől a másodlagos artériák oszlásáig tartó folyamatos követésében alkalmazzuk. Lényege, hogy síkba terítjük ki a coronaria térbeni lefutását, azaz „reformatáljuk”. Az ilyen „kiterített” coronariakép tartalmazza a horizontális képek egész információtartalmát, különösen a Hounsfield-egységek tekintetében. Fontos azonban

4. ÁBRA

Maximális intenzitású projekció. a) A jobb coronaria diffúz atheroscleroticus elváltozása látható. A nyíl egy exulcerált plakkra mutat. b) Kanyarodó multiplanáris rekonstrukció (cMPR) ugyanarról a jobb coronariáról



megjegyezni, hogy az MPR és a cMPR függ a vizsgáló személyétől, indokolt tehát az interaktív leletezés, a több síkban alkotott MPR és cMPR kombinált alkalmazása (4. ábra). A különböző posztprocesszási technikák előnyeit és hátrányait a 2. táblázat mutatja.

Három- és négydimenziós rekonstrukció

A háromdimenziós térbeli rekonstrukció a többszeletes coronaria-CT talán leglátványosabb modalitása. Ez a rekonstrukciós forma a képintenzitás és színskála tettség szerint történő változtatásával, valamint a szív pulzációs (négydimenziós) megjelenítésével a szív és struktúráinak valós látványát adja. Az így készült képeket a leletező számítógépes programmal elforgathatja, illetve a vizsgálni kívánt képleteket kiemelheti, amely által a bonyolult anatómiai viszonyok is érthetővé válnak. A térbeli rekonstrukció hasznos eszköz a corona-

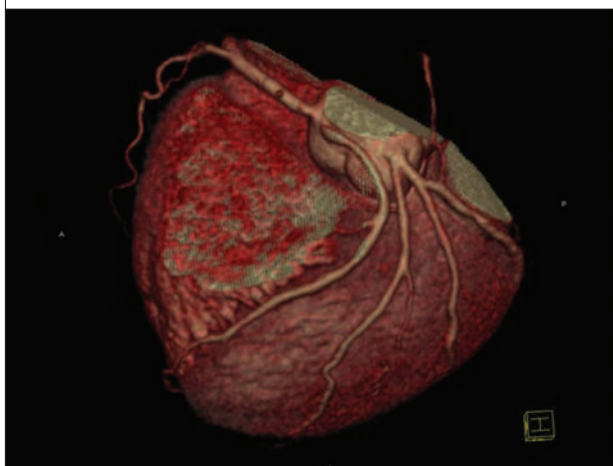
2. TÁBLÁZAT

A multislice CT-vizsgálatnál alkalmazott különböző értékelési módszerek előnyei és hátrányai

Alkalmazott módszer	Előnyök	Hátrányok
Axiális (horizontális) képek	valós adatok, a műtermékek könnyen felismerhetők, anatómiai megtekintés, mérhető az erek átmérője	nem háromdimenziós nézet
Multiplanáris rekonstrukció (MPR)	valós adatok, könnyen felismerhető műtermékek	rossz háromdimenziós felismerhetőség
Kanyarodó multiplanáris rekonstrukció (cMRP)	a kérdéses érszakasz teljes megtekintése	nagymértékben vizsgálófüggő, nem anatómiai megtekintés, időigényes, több vetület megtekintését igényli

5. ÁBRA

Háromdimenziós megjelenítés (volume rendering). A színek és a kép denzitása az értékelés közben is tetszés szerint változtatható a vizsgáló orvos vagy operátor által. A képen a jobb Valsalva-sinusból rendellenesen eredő bal elülső leszálló coronaria (left anterior descending – LAD) ábrázolódik



riák fejlődési anomáliáinak és a bypassgraftok lefutásának megjelenítésében (5. ábra).

A coronaria-CT-angiográfia értéke egyes kórállapotokban

Coronariastenosis

Az irodalmi adatok és elemzések alapján általánosan elfogadott, hogy az MSCT alkalmas a coronariastenosis detektálására, a bypassgraftok átjárhatóságának megítélésére, a coronariák fejlődési rendellenességeinek pontos diagnosztikájára, a szívtranszplantációt követő arteriopathia igazolására, a coronariaaneurysmák kimutatására (6, 7, 12). Az első közleményt, amely a nem invazív koronarográfia klinikai megbízhatóságát demonstrálta, Nieman és munkatársai publikálták (10). Ebbe a vizsgálatba 59 beteget vontak be, akiknél

ischaemiás szívbetegség gyanúja merült fel, és akiknél coronaria-CT-angiográfia és kvantitatív koronarográfia is történt. Annak ellenére, hogy 332 coronariaágból a technológia akkori színvonalán csak 231 volt értékelhető, az 50%-osnál nagyobb szűkületek detektálásait illetően igen magas szenzitivitást (95%), specificitást (86%), pozitív és negatív prediktív értékeket (80%, illetve 97%) mértek. Azóta több mint 3100 beteg bevonásával, számos centrum részvételével több hasonló vizsgálat bizonyította a coronaria-CT-angiográfia megbízhatóságát (13).

Mivel a sokdetektoros technológia az EKG-kapuzásos módszer alkalmazása mellett is tartalmazhat a szív mozgásából származó műtermékeket, ezért az eltérések pontos meghatározásának mértéke nem éri el a hagyományos coronaria-angiográfia diagnosztikus pontosságát (14). Ez egyben azt is jelenti, hogy az MSCT-módszer térbeli és időbeli felbontásának tökéletesítéséig a hagyományos koronarográfia marad a klinikailag is szignifikáns coronariastenosisok pontos meghatározásának „gold standard” módszere. A CT-angiográfia elsősorban egyszerűen, gyorsan, veszélytelenül kivitelezhető, nem invazív vizsgálatként a betegek rizikóstratifikációjában, a coronariaszűkületek kizárásában segítheti a mindennapos klinikai gyakorlatot.

Az MSCT alkalmazásának elsődleges területe jelenleg az a klinikailag igen nehezen értékelhető betegcsoport, akik atípusos mellkasi panaszokkal fordulnak orvoshoz, valamint akiknél a coronariabetegség valószínűsége viszonylag kicsi vagy közepes (6, 7, 14). A módszer érzékenysége az egyes szerzők szerint 80–92% között van (15). Kiemelkedő sajátossága, hogy a szignifikáns coronariastenosis kizárására egyértelműen alkalmas (negatív prediktív érték 97–99%), azaz, ha az MSCT nem mutat coronariaszűkületet, az atípusos fájdalomról panaszoló betegnél a koszorúér-betegség igen nagy valószínűséggel kizárható (16). Az MSCT magas negatív prediktív értéke a koszorúér-betegség tekintetében kiemelkedik az egyéb nem invazív vizsgálóeljárások közül (3. táblázat) (17).

Különleges lehetősége az MSCT-vizsgálatnak a hagyományos invazív koronarográfiával szemben, hogy

3. TÁBLÁZAT

Az ischaemiás szívbetegség diagnosztikájában napjainkban rutinszerűen elérhető, nem invazív vizsgálóeljárások és a coronaria multislice CT-angiográfia összehasonlítása (1, 4, 13, 17 és a www.acc.org clinical statements and guidelines alapján módosítva)

	Betegek száma	Szenzitivitás (%)	Specificitás (%)	PPV (%)	NPV (%)	ACC (%)
Terheléses EKG	24 047	68	77	70	75	73
Perfúziós szcintigráfia	28 751	89	80	85	72	89
Terheléses echo	5000	85	79	89	73	83
DPD-szcintigráfia	<1000	85	79	95	75	87
DBT-stresszecho	<1000	88	84	85	88	86
16/64 szeletes CT	>3100	91	86	78	97	95

ACC: prediktív pontosság; DPD: dipiridamol; DBT: dobutamin; NPV: negatív prediktív érték; PPV: pozitív prediktív érték

alkalmas az intracoronariás szűkületet okozó atheroscleroticus plakk morfológiai karakterizálására (18), amely a diagnosztika számára új távlatokat nyit.

További tudományos bizonyítékokat és technológiai fejlődést igénylő, de rendkívül ígéretes területe az MSCT-diagnosztikának az invazív beavatkozások követése. A stentek átjárhatóságának, illetve az instent-restenosis kialakulásának és mértékének követése függ a stent típusától és átmérőjétől. Jó képminőség esetén a 16, 32 és 64 szeletes CT segítségével valamennyi stenttípus esetében (kivéve a tantalumstenteket) lehetőség nyílik az instent-restenosis pontos vizsgálatára (19–21).

Különösen hasznos lehet a nem invazív CT-angiográfia a coronaria-bypassműtéten átesett beteg követésében, mivel az invazív vizsgálattal szemben kisebb sugárdózissal és kontrasztanyag-mennyiséggel végezhető el, illetve a bypassgraftok, nagy átmérőjüknek és relatív mozdulatlanságuknak köszönhetően, jó képminőséggel ábrázolhatóak. A CT-vizsgálat jó érzékenységgel képes kimutatni a graftstenosisokat, így hatékonyan lehet előszűrni a panaszos betegeket az invazív diagnosztika és beavatkozás számára (22).

A coronariaplakkok kiterjedése

A konvencionális koronarográfiás kép kitűnően kvantifikálja az érátmérő változásait, de kevésbé jellemzi a falvastagság vagy plakk összetételét, egyéni sajátosságait. A plakkot az MSCT segítségével direkt módon vizualizálhatjuk (23, 24). A tünetmentes plakkok láthatóvá tételével kapcsolatos ellenvélemény, hogy ismeretnek nincs más terápiás konzekvenciája, mint a rizikófaktorok ellenőrzése és modifikációja. Az MSCT-vizsgálat egyik legnagyobb nyeresége lehet a közeljövőben, hogy az ismert „plakkbetegségben” szenvedő beteg és orvosa – az ismételt MSCT-szkennek alapján – megbizonyosodhatnak az alkalmazott gyógyszeres kezelés és életmód-változtatás hatékonyságáról, vagy arról, hogy csökken-e az ismert szűkület mértéke (25).

Ellenkező esetben felismerhető, hogy az eddigi beavatkozás hatástalan, és hatékonyabb megelőzési és kezelési módszerre kell áttérni. Az erre vonatkozó tudományos információk és bizonyítékok egyelőre szerények. Távlatok szempontjából azonban döntő jelentőségű lehet az MSCT-vizsgálat által nyújtott diagnosztikus lehetőség mind az atherosclerosis folyamatának megismerésében, mind a kezelési algoritmusok jövőbeni kialakításában. A módszer fejlődése idővel lehetővé teszi majd, hogy az alapbetegséget még a klinikai események bekövetkezése előtt felismerjük, illetve egy egyszerű, nem invazív vizsgálattal követhessük annak progresszióját, a terápiás beavatkozások hatását (26).

Coronariakalcifikáció

A coronaria-CT-angiográfia előtt rutinszerűen végzett, a beteg számára alacsony sugárterheléssel járó kalciumscoring-vizsgálat javíthatja a módszer diagnosztikus pontosságát. Ha a kalciumtartalom nagyobb, mint 1000 Agatston-pontszám, nagymértékben csökken az MSCT-koronarográfia szenzitivitása (27). Ilyen esetekben a coronariák meszesedése már olyan kiterjedt, hogy más képalkotó diagnosztikai eljárás (például myocardium-perfúziós vizsgálatok, invazív koronarográfia) alkalmazásával hatékonyabban bizonyíthatjuk a revascularisatio szükségességét.

Jól ismert tény, hogy minél kiterjedtebbek a coronariarendszerben észlelhető kalciumdepozitumok, annál súlyosabb és kiterjedtebb coronariabetegsége számíthatunk, és a depozitumok száma az életkorral növekszik (9, 28). Bár a kalcium előfordulása a súlyos szűkületek környezetében gyakoribb (29), gyenge az EBCT-vel mért Agatston-score értéke és a coronariaszűkületek közötti statisztikai összefüggés (30). Ennek oka, hogy különösen idősebb korban, kiterjedt kalcifikáció található a mérsékelt besűkült erek területén is (31), valamint ott, ahol már extenzív coronariaremodell alakult ki (28).

Az önálló, kontrasztanyag adását nem igénylő, ala-

csony sugárterheléssel jár, kalciumpontszám meghatározást elsősorban az Egyesült Államokban a magas cardiovascularis rizikójú fiatal betegek szűrésében alkalmazzák (8, 32).

Vulnerábilis plak

Patológiai vizsgálatok igazolták, hogy az első és egyben halálos szívizominfarktusok mintegy 80%-ában a plakkruptura, azaz coronariathrombosis olyan koszorúerekben következett be, amelyekben a plak a coronaria átmérőjének átlagosan csak 56%-os szűkületét okozta (33), illetőleg a szűkület mértéke meg sem közelítette a már tüneteket okozó 70-80%-ot. Ez egyben azt is jelenti, hogy a legsúlyosabb laesiók felderítése és kezelése a beteg számára kritikus plakkok legalább felét nem is veszi figyelembe. Az MSCT-nek, mint nem invazív módszernek, éppen az lehet a legnagyobb haszna, hogy segítségével felismerhetjük az akár szerényebb átmérőcsökkenést okozó, de rupturára hajlamos laesiókat (26). A vékony fedőrétegű „thin cap” fibroatheroma, amely nekrotikus, koleszterinben gazdag „maggal” bír, felelős a plakkrupturák mintegy 70%-áért (34). Az MSCT-vizsgálattal ma már képesek vagyunk a plakkhipodenzitások (intravasculáris ultrahangvizsgálattal echoszegény áréák) felismerésére (35), és ezek azonosak a sérülékeny plak nekrotikus gócaival vagy frissen vascularisált, más esetekben thromboticus területekkel. Az MSCT ilyen irányú alkalmazásának a klinikai vonatkozásai egyelőre nem kellően alátámasztottak, de kétségkívül jelentős előrelépés lenne a prevencióban, ha a vulnerábilis plakot már a thromboticus esemény bekövetkezése előtt megbízhatóan tudnánk azonosítani.

Az MSCT-vizsgálat okozta sugárterhelés

Az MSCT-vizsgálatnál, megfelelően telepített készülék esetében, a vizsgálatot nem érheti érdemleges su-

gárterhelés. A vizsgált személy által elszenvedett sugárdózis – a különböző típusú szkennerek és vizsgálati protokollok szerint – változó (36), általában 7–13 mSv (1 mSv=100 mrem) között van, s ez az érték a korábban leírt prospektív EKG-kapuzás mellett alacsonyabb. Az említett dózistartományban minden 10 mSv dózist követően a rákbetegségből eredő halálozás 0,06–0,1%-kal növekszik (37). Összehasonlításképpen: a rutinszerűen, diagnosztikus célból végzett coronaria-angiográfia során a beteg által elszenvedett sugárterhelés 3–25 mSv között változik (38). Emellett a sugárterhelés okozta várható rákhalálozás mértéke 0,02–0,2% között mozog (37).

Összegezve: Az MSCT okozta sugárterhelés nem hanyagolható el, azonban a sugárkímélő protokollok egyre elterjedtebb alkalmazása mellett ez kevesebb, mint a rutin-koronarográfia okozta, szintén igen alacsony veszélyeztetettség. Természetesen egy tünetmentes betegnél, mint más vizsgálat indikációja esetében, a veszélyeztetettség-nyereség aránya kell, hogy meghatározza a vizsgálat alkalmazását.

Összegzés

A korszerű MSCT-technológia biztosítja a szív és a koszorúerek pontos ábrázolásához elengedhetetlen térbeli és időbeli felbontóképességet. Az új generációs 16–64 szeletes és dual source CT-berendezések magyarországi elterjedésével várhatóan exponenciális növekedésnek indul a nem invazív coronaria-angiográfiai vizsgálatok száma. A coronaria-CT-angiográfia kiváló eszköz a mellkasi fájdalommal jelentkező betegek kór állapotának pontos és gyors diagnosztizálására. A folyamatos technológiai fejlődés a közeljövőben várhatóan lehetővé teszi majd a vizsgálat indikációs körének kiterjesztését. Valószínűleg használható lesz a módszer az ischaemiás szívbetegség korai szakaszában a plakk-morfológia vizsgálatára, a vulnerábilis plak azonosítására csakúgy, mint a már revaszularisatiós beavatkozásban részesült betegek követésére.

IRODALOM

1. Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM, et al. ACC/AHA guidelines for coronary angiography. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on practice guidelines (Committee on Coronary Angiography). Developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:1756-824.
2. A Kardiológiai Szakmai kollégium ajánlása. Stabil angina pectoris. Klinikai irányelvek kézikönyve. *Medintel* 2005;11:18-28.
3. van Buuren F, Mannebach H, Horstkotte D. 20th report of performance data from heart catheterization laboratories in Germany. 2003 results of a collaborative survey by the Committee of Clinical Cardiology and the Interventional Cardiology (for ECS) and Angiology Study Groups of the German Society of Cardiology-Cardiovascular Research. *Z Kardiol* 2005;94:212-5.
4. de Feyter PJ, Krestin GP. Computed tomography of the coronary arteries. *London: Taylor & Francis; 2005.*
5. Préda I, Kerecsen G. Többszeletes komputertomographia (MSCT) a koszorúér-betegség korai diagnosztikájában. *Medicus Universalis* 2006;39:3-5.
6. Hoffmann U, Ferencik M, Cury RC, Pena AJ. Coronary CT angiography. *J Nucl Med* 2006;47:797-806.
7. Min JK, Wann S. Indications for coronary and cardiac computed tomographic angiography. *Cardiol Rev* 2007;15:87-96.
8. Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, et al. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1475-97.
9. Rumberger JA, Brundage BH, Rader DJ, Kondos G. Electron beam computed tomographic coronary calcium scanning: a review and guidelines for use in asymptomatic persons. *Mayo Clin Proc* 1999;74:243-52.

10. Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ, et al. Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: impact of heart rate. *Heart* 2002;88:470-4.
11. Scheffel H, Alkadhi H, Plass A, et al. Accuracy of dual-source CT coronary angiography: First experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *Eur Radiol* 2006;16:2739-47.
12. Gertz SD, Cherukuri P, Bodmann BG, et al. Usefulness of multidetector computed tomography for noninvasive evaluation of coronary arteries in asymptomatic patients. *Am J Cardiol* 2006;97:287-93.
13. Sun Z, Jiang W. Diagnostic value of multislice computed tomography angiography in coronary artery disease: a meta-analysis. *Eur J Radiol* 2006;60:279-86.
14. Schoenhagen P, Stillman AE, Halliburton SS, Kuzmiak SA, Painter T, White RD. Non-invasive coronary angiography with multi-detector computed tomography: comparison to conventional X-ray angiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2005;21:63-72.
15. van der Zaag-Loonen HJ, Dijkers R, de Bock GH, Oudkerk M. The clinical value of a negative multi-detector computed tomographic angiography in patients suspected of coronary artery disease: A meta-analysis. *Eur Radiol* 2006;16:2748-56.
16. Dewey M, Hamm B. CT coronary angiography: examination technique, clinical results, and outlook on future developments. *Rofo* 2007;179:246-60.
17. O'Rourke RA, Brundage BH, Froelicher VF, et al. American College of Cardiology/American Heart Association Expert Consensus Document on electron-beam computed tomography for the diagnosis and prognosis of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2000;36:326-40.
18. Leber AW, Knez A, Becker A, et al. Accuracy of multidetector spiral computed tomography in identifying and differentiating the composition of coronary atherosclerotic plaques: a comparative study with intracoronary ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 2004;43:1241-7.
19. Rixe J, Achenbach S, Ropers D, et al. Assessment of coronary artery stent restenosis by 64-slice multi-detector computed tomography. *Eur Heart J* 2006;27:2567-72.
20. Maintz D, Seifarth H, Flohr T, et al. Improved coronary artery stent visualization and in-stent stenosis detection using 16-slice computed-tomography and dedicated image reconstruction technique. *Invest Radiol* 2003;38:790-5.
21. Maintz D, Seifarth H, Raupach R, et al. 64-slice multidetector coronary CT angiography: in vitro evaluation of 68 different stents. *Eur Radiol* 2006;16:818-26.
22. Stein PD, Beemath A, Skaf E, et al. Usefulness of 4-, 8-, and 16-slice computed tomography for detection of graft occlusion or patency after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 2005;96:1669-73.
23. Schroeder S, Kopp AF, Burgstahler C. Noninvasive plaque imaging using multislice detector spiral computed tomography. *Semin Thromb Hemost* 2007;33:203-9.
24. Dowe DA. The case in favor of screening for coronary artery disease with coronary CT angiography. *J Am Coll Radiol* 2007;4:289-94.
25. Burgstahler C, Reimann A, Beck T, et al. Influence of a lipid-lowering therapy on calcified and noncalcified coronary plaques monitored by multislice detector computed tomography: results of the New Age II Pilot Study. *Invest Radiol* 2007;42:189-95.
26. Rasouli ML, Shavelle DM, French WJ, McKay CR, Budoff MJ. Assessment of coronary plaque morphology by contrast-enhanced computed tomographic angiography: comparison with intravascular ultrasound. *Coron Artery Dis* 2006;17:359-64.
27. Heuschmid M, Kuettner A, Schroeder S, et al. ECG-gated 16-MDCT of the coronary arteries: assessment of image quality and accuracy in detecting stenoses. *AJR Am J Roentgenol* 2005;184:1413-9.
28. Burke AP, Weber DK, Kolodgie FD, Farb A, Taylor AJ, Virmani R. Pathophysiology of calcium deposition in coronary arteries. *Herz* 2001;26:239-44.
29. Mautner GC, Mautner SL, Froehlich J, et al. Coronary artery calcification: assessment with electron beam CT and histomorphometric correlation. *Radiology* 1994;192:619-23.
30. Detrano R, Hsiai T, Wang S, et al. Prognostic value of coronary calcification and angiographic stenoses in patients undergoing coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 1996;27:285-90.
31. Gertz SD, Malekzadeh S, Dolla AL, Kragel AH, Roberts WC. Composition of atherosclerotic plaques in the four major epicardial coronary arteries in patients greater than or equal to 90 years of age. *Am J Cardiol* 1991;67:1228-33.
32. Pletcher MJ, Tice JA, Pignone M, Browner WS. Using the coronary artery calcium score to predict coronary heart disease events: a systematic review and meta-analysis. *Arch Intern Med* 2004;164:1285-92.
33. Falk E. Pathogenesis of atherosclerosis. *J Am Coll Cardiol* 2006;47:C7-12.
34. Kolodgie FD, Burke AP, Farb A, et al. The thin-cap fibroatheroma: a type of vulnerable plaque: the major precursor lesion to acute coronary syndromes. *Curr Opin Cardiol* 2001;16:285-92.
35. Caussin C, Ohanessian A, Ghostine S, et al. Characterization of vulnerable nonstenotic plaque with 16-slice computed tomography compared with intravascular ultrasound. *Am J Cardiol* 2004;94:99-104.
36. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, et al. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2006;114:1761-91.
37. Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR V), National Research Council. Health effects of exposure to low levels of ionizing radiation. ISBN-10: 0-309-07358-8 1990.
38. Westerman BR. Advances in cardiovascular CT imaging: CT technology. *Int J Cardiovasc Imaging* 2005;21:5-11.



HÍR

A MAGYAR KARDIOLÓGUSOK TÁRSASÁGA INTERVENCIÓS KARDIOLÓGIAI MUNKACSOPTJÁNAK TUDOMÁNYOS ÉS TOVÁBBKÉPZŐ ÜLÉSE

Időpont: 2007. október 4–6.

Helyszín: Szegedi Tudományegyetem, József Attila Tanulmányi és Információs Központ; 6722 Szeged, Ady tér 10.

Fő témák: Komplex koszorúér-laesiók kezelése; A gyógyszerkibocsátó stentek aktuális kérdései; ST-elevációs myocardialis infarctus; A hypertrophiás cardiomyopathia intervenciós kezelése; A coronariakeringés funkcionális vizsgálata.

Információs és szervezőiroda: Proko Travel; 6720 Szeged, Kígyó u. 3. Telefon/fax: (62) 484-225, (62) 486-283, (62) 543-385. <http://www.prokotravel.hu>. Kapcsolattartó: Garai Sarolta. Telefon/fax: (62) 543-385; e-mail: garais@prokotravel.hu