

# Korszerű koronáriaintervenció CT-vezérléssel: terápiás tervezés és előnyök

Juhász Dénes, Vattay Borbála, Boussoussou Melinda,  
Vecsey-Nagy Milán, Jokkel Zsófia, Jermendy Ádám,  
Merkely Béla, Édes István Ferenc, Szilveszter Bálint



A szerző  
video-összefoglalója

Semmelweis Egyetem, Városmajori Szív- és Érgyógyászati Klinika, Budapest

Levelezési cím:

Juhász Dénes, juhaszdenes99@gmail.com

A koszorúér-CT-angiográfia (CCTA) hatékony és megbízható noninvazív modalitás az obstruktív koszorúér-betegség (CAD) kizárására, stabil mellkasi panaszokkal bíró betegek körében. Az elmúlt években tapasztalt dinamikus technológiai fejlődésnek köszönhetően, a térbeli és időbeli felbontás javulásával a CCTA diagnosztikus teljesítményének további javulása várható, így biztosítva a hatékony kapuórfunkciót az invazív kivizsgálást megelőzően. Továbbá a CAD kiterjedtségének, súlyosságának és lokalizációjának meghatározása révén a betegek rizikóstratifikációja és szekunder prevenció kezelése optimalizálható. Továbbá obstruktív szűkület esetén a CCTA által nyújtott morfológiai információk (a léziók lokalizációja, hossza, összetétele) segíthetik az optimális stent kiválasztását, valamint teljes okklúzió esetén pontosabban megítélhető az intervenció sikeressége is. A koronáriarendszer anatómiai jellemzésén felül CT segítségével funkcionális információ is nyerhető (CT-FFR vagy perfúziós CT-vizsgálat), valamint új posztprocesszing szoftverek fejlesztésével az invazív beavatkozást követő várható FFR-érték is becsülhető, amely kiemelt segítséget nyújthat komplex perkután koronáriaintervenciók (PCI) tervezéséhez. Jelen összefoglaló közleményben a CCTA technikai újításait és a PCI-tervezésben betöltött szerepét foglaljuk össze.

**Kulcsszavak:** koronária-CT-angiográfia, perkután koronáriaintervenció, stentképzőanyag, frakcionális áramlási rezerv, koronáriabetegség

## Coronary CT Angiography to Guide Percutaneous Coronary Intervention

Coronary CT angiography (CCTA) is an effective and reliable non-invasive modality for the rule-out of obstructive coronary disease (CAD) in patients with stable chest pain. Thanks to the dynamic technological advancements in recent years, improvements in spatial and temporal resolution are expected to further enhance the diagnostic performance of CCTA, ensuring an effective gatekeeper function before invasive evaluation. Furthermore, by determining the localization, extent, and severity of CAD, optimization of risk stratification and secondary prevention can be achieved. In cases of obstructive stenosis, the morphological information provided by CCTA (lesion localization, length and composition) can assist in the selection of the optimal stent, furthermore, the expected success rate of total occlusion revascularization can be assessed with higher accuracy. In addition to the anatomical characterization of the coronary system, functional information can be obtained by CTA (CT-FFR or myocardial perfusion CT). Moreover, with the development of new post-processing software, the expected FFR value following invasive intervention can be estimated, which may be of particular help in planning complex percutaneous coronary interventions (PCI). This review summarizes the technical innovations of CCTA and its role in PCI planning.

**Keywords:** coronary CT angiography, percutaneous coronary intervention, stent imaging, fractional flow reserve, coronary artery disease

A kézirat 2023. 10. 03-án érkezett a szerkesztőségbe, 2023. 11. 12-én került elfogadásra.

## Bevezetés

A koszorúér-betegség (CAD) napjainkban is jelentős morbiditási és mortalitási tényező világszerte (1). A CAD korai azonosítása, a megfelelő prevenció, illetve a magasabb rizikójú betegcsoportok felismerése kiemelt jelentőségű. Az elmúlt évtized fejlesztéseinek köszönhetően a noninvazív kardiovaszkuláris képalkotás az irányelvekben egyre fontosabb szerepet tölt be a mellkasi panaszokkal bíró betegek vizsgálatában. A CAD diagnosztikájában a koronária-CT-angiográfia (CCTA) kiemelt jelentőségű a koszorúérrendszer magas térbeli felbontású ábrázolásának, gyorsaságának, valamint diagnosztikai pontosságának köszönhetően (2). A CCTA megbízható, hatékony noninvazív módszer a CAD kiterjedtségének, lokalizációjának és súlyosságának meghatározására (3).

Alacsony, valamint közepes preteszt-probabilitással rendelkező stabil anginás betegek körében a CCTA megbízhatóan képes kizárni az obstruktív koszorúér-szűkületet, így alkalmazásával jelentősen csökkent a diagnosztikus invazív katéterezések száma (4). Az obstruktív CAD goldstandard diagnosztikai eszköze az invazív koronarográfia (ICA), amely során a betegség igazolását követően azonnali koszorúér-revaszkularizációra van lehetőség. A DISCHARGE klinikai vizsgálat eredményei alapján a CCTA biztonságos és hatékony alternatíva az ICA-val összevetésben, továbbá a CT-t alkalmazva, noninvazív természetéből adódóan, szignifikánsan alacsonyabb volt a major periprocedurális események száma hasonló adverz esemény ráta (MACE) mellett (5). A SCOT-HEART (Scottish Computed Tomography of the Heart) vizsgálat (n=4146) eredményei alapján 5 éves utánkövetés mellett a CT-re randomizált csoportban lényegesen alacsonyabb volt a szívinfarktusok előfordulási aránya a standardellátással szemben (2,3% vs. 3,9%, p=0,004), vélhetően a CT alapján optimalizált betegmenedzsment miatt (6). Az Európai Kardiológiai Társaság (European Society of Cardiology, ESC) 2019-es ajánlásának megfelelően, a CCTA első körben alkalmazandó képalkotó modalitás a krónikus koronáriszindróma diagnosztikájában a kis és közepes rizikójú, stabil mellkasi fájdalommal rendelkező betegek körében (7). Az indikációs körök kiszélesedésével azonban számos közepes, illetve magas rizikójú beteg is referálásra kerül CCTA-vizsgálatra, amely esetekben a szűkület súlyossága mellett a plakkok összetételét, elhelyezkedését, kalciumtartalmát és hemodinamikai relevanciáját is vizsgálhatjuk az intervenció pontosabb és hatékonyabb tervezése érdekében.

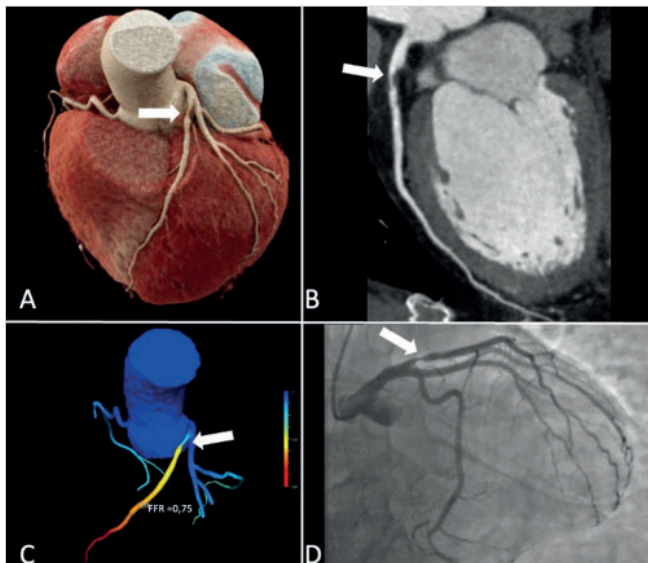
A magasabb rizikójú, kiterjedt meszesedéssel bíró betegek esetében a CCTA diagnosztikai teljesítménye mérsékelt, mivel a kalcifikáció okozta „blooming” műtermék a lumen megítélését nehezíti. A photon-counting CT (PCCT) elmúlt években kifejlesztett innovatív detektor technológiája révén új fejezet nyílt a CT-képalkotás terén, amely lehetőséget nyújt a konvencionális

CT korlátainak leküzdésére. Összehasonlítva a tradicionális CT-detektorral, jobb térbeli felbontással rendelkezik, csökkenti az elektromos zajt, valamint spektrális információt tesz elérhetővé. A legnagyobb kihívást jelentő, diffúzan meszes és komplex lézióval bíró betegek esetében a blooming műtermékek csökkentése révén a PCCT javítja a diagnosztikus teljesítményt. A PCCT 96%-os szenzitivitással, 84%-os specificitással, és 88%-os diagnosztikus pontossággal képes detektálni a CAD-ot diffúz meszesedéssel rendelkező betegek körében (8).

A CCTA diagnosztikai pontossága és széleskörű alkalmazása ellenére még mindig nem aknázzuk ki teljes mértékben annak potenciális szerepét a perkután koronáriaintervenció (PCI) tervezésében. A technológia dinamikus fejlődésének köszönhetően (jobb térbeli felbontás, plakk-quantifikáció, funkcionális elemzés) a CCTA használata forradalmasíthatja a PCI tervezését, a transzkatéteres aortaműbillentyű-beültetés tervezéséhez hasonlatosan. Jelen összefoglaló közlemény a CCTA növekvő szerepét mutatja be a CAD klinikai döntéshozatalában, fókuszálva a koszorúér-intervenció tervezésében betöltött szerepére.

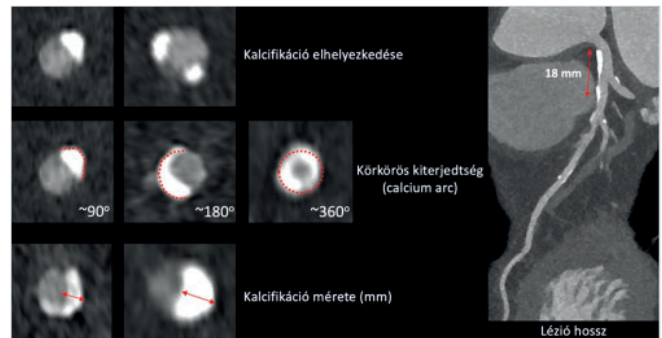
## A koszorúér-anatómia, valamint plakkok morfológiai elemzése CCTA segítségével

A CCTA-felvételek alapján meghatározhatjuk a stenotikus szakaszon a minimális lumenátmérőt és a szomszédos, egészséges érszakasz belső átmérőjét, amely a szűkület súlyosságának megfelelő klasszifikációjához elengedhetetlen. *Collet és munkatársai* összehasonlították a CCTA-val mért lumenátmérőt és területet invazív mérésekkel szemben (kvantitatív koronáriaangiográfia [QCA] és intravaszkuláris ultrahang [IVUS]). Eredményeik kiváló korrelációt találtak a CT- és invazív mérések között, valamint a CT kis mértékben becsülte alá a lumen dimenziókat IVUS-szal szemben (9). Továbbá CCTA alapján megbízhatóan meghatározható az adott lézió teljes hossza, biztosítva a plakkok teljes lefedettségét stentelés során (1. ábra). A léziók részletes elemzése pontosabb intervenciót tesz lehetővé, valamint csökkentheti a szövődmények kialakulását. Az elégtelen plakklefedettség összefüggésbe hozható a posztoperatív miokardiális infarktus fokozott kockázatával (10). *Kobayashi és munkatársai* eredményei rávilágítottak, hogy a 47,3%-nál magasabb plakkterheltséggel rendelkező landing-zóna összefüggésbe hozható a stent szélén kialakuló disszekció előfordulásával (11). CCTA segítségével a proximális és disztális ép érterület is pontosan meghatározható, amely hozzájárul a megfelelő stentméret és pozíció kiválasztásához. Ezen felül a koronáriszajadékok pontos elhelyezkedése, valamint eredési szöge is leírható CCTA-felvételek segítségével, amely az optimális katéter kiválasztásában nyújthat segítséget.



**1. ÁBRA.** **A:** 3 dimenziós rekonstrukciós anatómiai modell, amelyen a részletes koszorúér-lefutás, valamint a bal elülső leszálló ág proximális szakaszán (pLAD) elhelyezkedő szűkület is látható (fehér nyíl). **B:** Multiplanaris rekonstrukció a LAD lefutásáról, a proximális szakaszon egy nem kalcifikált plakk okoz súlyos fokú (>70%) szűkületet (fehér nyíl). **C:** CT-alapú frakcionális áramlási rezerv (CT-FFR) 3 dimenziós rekonstrukciós modell, amelyen a CT-FFR-értékek láthatók. Ebben az esetben a CT-FFR a LAD-lézió kapcsán iszkémiát jelzett (CT-FFR: 0,75). **D:** Invazív koronarográfia képe a bal ágrendszerrel és a LAD proximális szakaszán található lézióval, amelyet egy gyógyszerkibocsájtó stent beültetésével kezeltünk a CT alapján a nem kalcifikált plakk teljes kiterjedését figyelembe véve (fehér nyíl)

A CCTA alapján kiváló pontossággal leírható a meszesedés elhelyezkedése és hossza, valamint, hogy a meszesedés az érátmetszet mekkora részét érinti szögben kifejezve (kalciumarc), amelyek szintén hozzájárulnak az intervenció várható sikerességéhez (2. ábra). A durván kalcifikált plakk jelenléte az alábbi tényezők által befolyásolhatja az intervenció sikerességét: nehezítheti a stentlézióval való átjuttatását, a stent gyógyszermentes polimerbevonata sérülhet, valamint akadályozhatja a stent expanzióját. A CCTA-felvételek alapján meghatározott koronária kalcium-score ismerete függvényében lehetőség nyílik preoperatív dön-



**2. ÁBRA.** CT-felvétel alapján megbízhatóan meghatározható a kalcifikáció lokalizációja, körkörös kiterjedtsége, vastagsága, valamint a hossza. Ezek a paraméterek fontos információval szolgálnak a beavatkozás várható sikerességéről, így ismeretük elengedhetetlen az optimális terápias terv kiválasztásához

téshozatalra a különböző plakkmodifikációs technikák (rotációs atherectomia, cutting ballon, intravaszkuláris litotripszia) alkalmazhatóságáról, a beavatkozás sikerének maximalizálásának érdekében (12). *Fujino és munkatársai* által publikált eredmények szerint az 5 mm-nél nagyobb lézióhossz, a 0,5 mm-nél vastagabb kalcifikáció, valamint a legalább 180°-os körkörös kiterjedtség jelenléte összefüggött az elégtelen stentexpanzió gyakoriságával (medián 78%) (13). Továbbá a CT-vel detektált kalcifikáció remodellációs index és denzitás mértéke predikálta a rotabláció szükségességét (kalcifikációhossz >19,3 mm: negatív prediktív érték: 84,8%, pozitív prediktív érték: 84,8%; átlag denzitás >637 HU: negatív prediktív érték: 97,0% pozitív prediktív érték: 81,8%) (14). A CCTA potenciális előnyeit az 1. táblázat foglalja össze.

A koronáriák háromdimenziós CT-ábrázolása kifejezetten előnyös az oldalágak szájadékánál elhelyezkedő plakkok értékelésére (bifurkációs PCI tervezés), ahol a fluoroszkópiás felvételen az egymást fedő struktúrák korlátozottan értékelhetők. Intervenció tervezésénél a CCTA-felvétel alapján kiválasztható az az optimális projekciós szög, amelynek alkalmazása mellett a fluoroszkópiás felvételen az adott koronáriaszakasz perspektivikus rövidülés (foreshortening) nélkül vizualizálható, akár transzkatóéteres aortabillentyű-beültetést

**1. TÁBLÁZAT.** CCTA-felvételek alapján nyerhető információk és a hasznosításuk módjainak felsorolása

CT-ANGIOGRÁFIA-ALAPÚ INFORMÁCIÓ		ELŐNYÖK
Koszorúér-anatómia	Eredés és lefutás	Guiding-katéter-választás
Lézió elhelyezkedése	Bifurkáció, kiterjedtség	Intervenció komplexitásának meghatározása
Lézióhossz és -átmérők	Landing zone elemzés	Stenthossz és -átmérő kiválasztása
Lézióspecifikus CT-FFR	Hemodinamikai relevancia	Lézió(k) kiválasztása revaszkularizációra
Plakkösszetétel	Kalcifikáció mértéke elhelyezkedése, plakkterheltség	Plakkmodifikáció tervezése, optimális stenthossz kiválasztása
Miokardiális izomtömeg	A lézió mögötti ellátási terület értékelése	Intervenció szükségessége
Optimális projekció	Foreshortening nélküli képalkotás	Lézió(k) hatékony és gyors ábrázolása

követő intervenció kapcsán (15, 16). Ezáltal minimalizálható a műtéti szövödmények kockázata, a beavatkozás közben beadott kontrasztanyag mennyisége, valamint a páciens ért sugárterhelés.

### Lézióspecifikus iszkémia meghatározása noninvazív módon: CT-FFR

Mint anatómiai képalkotó modalitás, a tradicionális CCTA a CAD morfológiai elemzését teszi lehetővé. Azonban az utóbbi években lehetőség nyílt a CAD funkcionális értékelésre is CT-t alkalmazva. Számos vizsgálat igazolta az anatómiai súlyosság és az iszkémia közötti diszcrepanciát, valamint az iszkémia vezérelt koronária-revaszkularizáció prognosztikus előnyét (17–19). Nyugalmi CCTA-felvételek alapján áramlásdinamikai szimulációval meghatározható a szűkület által érintett lézió frakcionális áramlási rezerv (fractional flow reserve – FFR) értéke. A mesterséges intelligencia és a noninvazív képalkotás területén tapasztalt dinamikus technológiai fejlődésnek köszönhetően a CT-FFR egyre szélesebb körben alkalmazott eljárás, amely a goldstandard invazív FFR-ral jó egyezést mutat számos vizsgálat alapján. Példaként említve a DISCOVER-FLOW-vizsgálat során a CT-FFR 84,3%-os diagnosztikus pontossággal és 92,2%-os negatív prediktív értékkel rendelkezett az invazív referenciával összevetve (20). A CCTA specificitása javítható CT-FFR alkalmazásával a revaszkularizációt igénylő eltérések kimutatására, ennek köszönhetően kevesebb álpozitív beteg kerülhet referálásra ICA-ra (21). Továbbá CT-FFR-t a CAD diagnosztikáján túlmenően segítséget nyújthat a koszorúér-revaszkularizáció tervezésében is (pl. többág-betegség).

A CT-FFR hátrányai közé sorolható, hogy a pontos FFR-érték meghatározásához elengedhetetlen a CT-felvételek kiváló minősége, továbbá alkalmazása költségigényes. Magyarországon rutinszerű alkalmazása jelenleg nem elérhető.

A P3 (Precise Percutaneous Coronary Intervention Plan) multicentrikus, prospektív klinikai vizsgálat során egy új, PCI tervezésére fejlesztett szoftver diagnosztikus pontosságát tesztelték, amely CT-képeket felhasználva, a stentelés szimulációját követően képes meghatározni a revaszkularizáció utáni várható FFR-értéket (22). A vizsgálatba 120, CCTA alapján ICA-ra referált beteg került bevonásra. A CT-FFR tervező segítségével prediktálták a pre-PCI CT-felvételek alapján a várható post-PCI FFR-értéket, majd az ICA során meghatározták a goldstandard invazív post-PCI FFR-értéket. A CT-FFR tervező jó egyezéssel becsülte meg a beavatkozás után várható FFR-értéket (ICA alapján mért FFR-érték:  $0,88 \pm 0,06$ ; CT-FFR tervező becsült FFR-értéke:  $0,86 \pm 0,06$ ) mind fokális, mind diffúz koronária-lézió esetén (23). Továbbá a preoperatív CT-FFR-szimuláció elvégzése fontos információval szolgál az alkalmazandó stent optimális lokalizációjáról, átmérőjéről, illetve

hosszúságáról az optimális post-PCI FFR eléréséhez. Jelenleg folyamatban lévő randomizált, multicentrikus P4 (Precise Procedural and PCI Plan) klinikai vizsgálat, amely a CCTA-alapú intervenció noninferioritását vizsgálja a goldstandard IVUS-vezérelt PCI-vel szemben. A kutatási terv szerint a vizsgálatba 2022 és 2029 között 1000 súlyos fokú koronáriaszűkülettel rendelkező beteg kerül bevonásra. A kiértékelés részét képezi CT alapján a plakkok morfológiai elemzése, az erek által ellátott izomtömeg volumenének meghatározása, a lézióspecifikus iszkémia detektálása CT-FFR-ral, valamint a koszorúér-kalcifikáció elhelyezkedésének vizualizációja is. A vizsgálat során az optimális projekciós szögek, a választandó eszközök és a stentméret is meghatározásra kerül.

### Miokardiális perfúzió vizsgálata CT segítségével

Szívizom-CT-perfúzió (computer tomography myocardial perfusion imaging – CT-MPI) alkalmazásával a miokardiális iszkémia azonosítható a nyugalmi CCTA-felvételek kiegészítéseként. A statikus perfúzió során a myocardiumban hipoattenuációs mintázat alapján detektálható az iszkémia jelenléte (transmurális, lokalizáció) adozin/regadenoson vazodilatátor hatás mellett. Továbbá, kvantitatív perfúziós paraméterek (pl. miokardiális vérátáramlás – myocardial blood flow, MBF) is meghatározhatók dinamikus felvételezési protokoll mellett CT segítségével, amelynek azonban hátránya a magasabb sugárdózis. Dinamikus CT-perfúziót alkalmazva a kvantitatív kiértékelés segítségével a szegmentális iszkémia detektálásán felül, lehetőség van a globális iszkémia azonosítására is, amely statikus felvételekkel nem lehetséges. A CCTA és CT-MPI kombinált alkalmazásával lehetőség van a koszorúér-léziók morfológiai elemzésének és funkcionális vizsgálatának kombinációjára, amely növeli a diagnosztikus pontosságot (24). Egy korábbi prospektív kutatás során a CT-MPI mintegy 89-92%-os szenzitivitással és 73-86%-os specificitással detektálta a szignifikáns CAD-ot invazív FFR-rel összevetve (25).

A CT-FFR, valamint a CT-MPI hasonló diagnosztikus pontossággal rendelkezik, a hagyományos CCTA-n túl mindkét modalitással többletinformációhoz juthatunk a plakk által okozott hemodinamikai súlyosságot illetően. Azonban a két modalitás technikai különbségéből adódó előnyök és hátrányok miatt alkalmazásuk eltérő betegcsoportokban indikált. A CT-MPI jobban teljesít revaszkularizált, valamint diffúz CAD-dal rendelkező betegek esetében, azonban nem alkalmazható azon páciensek körében, akiknél az adozin/regadenoson használata kontraindikált (26).

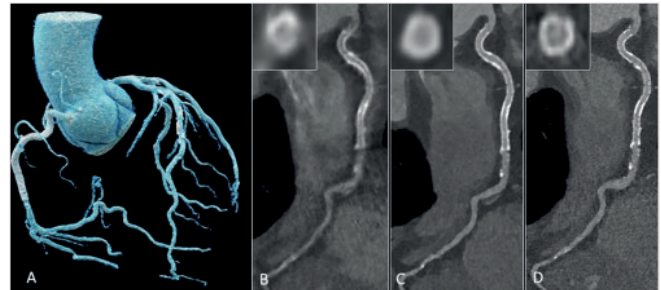
A CT-MPI jelenleg még Magyarországon a rutin betegellátásban nem elérhető vizsgálati módszer, elsődlegesen klinikai kutatások részeként kerül alkalmazásra (24, 27, 28).

## Krónikus totális okklúziók revaszkularizációja

Krónikus totális okklúzióknak (Chronic Total Occlusion – CTO) nevezzük az adott koszorúér legalább három hónapja fennálló teljes elzáródását (29). ICA-ra előjegyzett, koronáriabetegek körében mintegy 15-30%-ban fordul elő CTO, prevalenciája jelentősen korrelál az életkorral (30). A CTO revaszkularizációja a mai napig komoly kihívást jelent és jóval alacsonyabb a sikeres műtétek száma (60-85%), mint a szubtotális szűkület (98%) esetében (31). Egy korábbi metaanalízis alapján a sikertelen revaszkularizáció egyértelműen megnöveli a kórházi mortalitást (1,44% vs. 0,5%) és a súlyos kardiovaszkuláris szövődmények (8,88% vs. 3,75%) kockázatát, így a beavatkozásra alkalmas betegek felismerése kiemelt klinikai jelentőséggel bír (32, 33). CCTA alapján az okklúzió számos anatómiai tulajdonságáról (kalcifikáció mértéke, proximális csonk alakja/mérsz tartalma, tortuozitás, okklúzió hossza, okklúziók száma) nyilatkozunk, amelyek nagyban befolyásolják a revaszkularizáció várható sikerességét (34). A CTO komplex anatómiájából adódóan a megfelelő projekciós szög meghatározása kiemelten fontos az intervenció során, amelyben a CCTA hatékony segítséget nyújt (33). Számos pontrendszert (RECTOR-score, J-CTO-score, KCCT-score) alakítottak ki a CTO ellátásának optimalizálására, a sikeresség becslésére. Ezek közül a RECTOR-score a legelterjedtebben alkalmazott, amely alapján a lézió revaszkularizációja lehet technikailag könnyű (0 pont), közepes nehézségű (1 pont), nehéz (2 pont), vagy kifejezetten nehéz ( $\geq 3$  pont). A pontrendszer 6 változó (többszörös okklúzió, keresztmetszeti lumenterület érintettsége meszesedés által, kanyarulatosság az okklúzióon belül, proximális és distalis csonk alakja, korábbi CTO-kísérlet, CTO fennállásának ideje) alapján klasszifikálja a léziót (max. 6 pont) (35). *Hong és munkatársai* egy multicentrikus, randomizált vizsgálat keretein belül összehasonlították a preoperatív CCTA mellett és nélkül végzett CTO-revaszkularizáció sikerességét, amelynek során a CCTA alkalmazásánál mintegy 10%-al magasabb volt (93,5% vs. 84,0%) a műtét sikeressége, továbbá a perioperatív komplikációk száma is alacsonyabbnak bizonyult (1% vs. 6%) (36). A CCTA-felvétel alapján felállított pontrendszerek hozzájárulhatnak a műtetre alkalmas betegek kiválasztásához.

### Stent utánkövetés CCTA segítségével

A CCTA egyik kihívása a korábban PCI-n átesett betegek vizsgálata, mivel a beültetett stentek okozta műtermék következtében a koszorúér-rendszer korlátozottan értékelhető (37). Az irányelvek 3 mm-nél nagyobb átmérőjű stentek esetében tartják megfele-



**3. ÁBRA.** A: 3 dimenziós virtuális rekonstrukció a koronáriarendszerről, amelyen a jobb koronáriába (RCA) implantált stent látható. B–D: Ugyanazon RCA-ról készült CT-felvételek eltérő berendezés, valamint beállítási paraméterek használatával. B: Hagyományos, energiaintegráló detektorral rendelkező szív-CT berendezéssel készült felvétel, 0,5 mm-es térbeli felbontással. C: PCCT-vel készült felvétel, 0,4 mm-es térbeli felbontással. D: PCCT-vel készült felvétel, ultranagy felbontással (0,2 mm). A magasabb térbeli felbontás a stentek megítélhetőségét jelentősen javítja

lőnek a CCTA alkalmazását (38). Az új, fotonszámoló CT használatával a lumenviszonyok értékelését nehezítő műtermékek mértéke minimalizálható. A PCCT detektora lényegesen különbözik a hagyományos energiaintegráló detektortól, használatával az elektronikus zaj eliminálható, a magasabb térbeli felbontás miatt a fémek okozta műtermékek csökkenthetők. A PCCT egy kiváló noninvazív alternatíva lehet stentelt betegek utánkövetésére, alkalmazásával még a nagyobb kihívást jelentő eseteknél (pl. multiplex PCI, bifurkációs PCI, kisebb stentátmérő) is pontosabban elemezhetjük az intravaszkuláris viszonyokat, illetve detektálhatunk esetleges resztenóziát. Jelenleg futó klinikai vizsgálatok igazolhatják ezen innovatív eljárás diagnosztikai pontosságát különböző méretű és összetételű stentek esetében (3. ábra).

A PCCT-technológia a világon az első között a Semmelweis Egyetemen vált elérhetővé, amelyet közel 2 éve alkalmaznak a szív- és érrendszeri betegségek diagnosztikájában.

### Következtetések

Mára a CCTA a noninvazív jelleg, megbízhatóság, valamint széleskörű elérhetőség következtében a CAD diagnózisának alappillérvé vált. A CCTA a koszorúér-léziók morfológiai elemzését teszi lehetővé, beleértve a léziók súlyosságát, kiterjedtségét és elhelyezkedését, továbbá a szűkület által okozott hemodinamikai szignifikancia is meghatározható. Mindezek alapján a CCTA potenciálisan forradalmasíthatja a PCI-tervezést, segítheti az eszközök kiválasztását, a gyógyszeres terápia optimalizálását, az intervenció sikerességének becslését és esetleges szövődmények elkerülését is.

## Nyilatkozat

**A szerzők kijelentik, hogy az összefoglaló közlemény megírásával kapcsolatban nem áll fenn velük szemben pénzügyi vagy egyéb lényeges összeütközés, összeférhetetlenségi ok, amely befolyásolhatja a közleményben bemutatott eredményeket, az abból levont következtetéseket vagy azok értelmezését.**

## Irodalom

- Zipes DP, Wellens HJ. Sudden cardiac death. *Circulation* 1998; 98(21): 2334–51. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.98.21.2334>
- Vattay B, Szilveszter B, Boussoussou M, et al. Impact of virtual monoenergetic levels on coronary plaque volume components using photon-counting computed tomography. *Eur Radiol* 2023. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09876-7>
- Szilveszter B, Kolossvary M, Pontone G, et al. How to quantify coronary atherosclerotic plaque using computed tomography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2022; 23(12): 1573–5. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeac192>
- Haase R, Schlattmann P, Gueret P, et al. Diagnosis of obstructive coronary artery disease using computed tomography angiography in patients with stable chest pain depending on clinical probability and in clinically important subgroups: meta-analysis of individual patient data. *BMJ* 2019; 365: I1945. <https://doi.org/10.1136/bmj.I1945>
- Group DT, Maurovich-Horvat P, Bossert M, et al. CT or Invasive Coronary Angiography in Stable Chest Pain. *N Engl J Med* 2022; 386(17): 1591–602. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2200963>
- Investigators S-H, Newby DE, Adamson PD, et al. Coronary CT Angiography and 5-Year Risk of Myocardial Infarction. *N Engl J Med* 2018; 379(10): 924–33. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1805971>
- Nkutu J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 2020; 41(3): 407–77. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425>
- Hagar MT, Soschynski M, Saffar R, et al. Accuracy of Ultrahigh-Resolution Photon-counting CT for Detecting Coronary Artery Disease in a High-Risk Population. *Radiology* 2023; 307(5): e223305. <https://doi.org/10.1148/radiol.223305>
- Collet C, Chevalier B, Cequier A, et al. Diagnostic Accuracy of Coronary CT Angiography for the Evaluation of Bioresorbable Vascular Scaffolds. *JACC Cardiovasc Imaging* 2018; 11(5): 722–32. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.04.013>
- Costa MA, Angiolillo DJ, Tannenbaum M, et al. Impact of stent deployment procedural factors on long-term effectiveness and safety of sirolimus-eluting stents (final results of the multicenter prospective STLLR trial). *Am J Cardiol* 2008; 101(12): 1704–11. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2008.02.053>
- Kobayashi N, Mintz GS, Witzensichler B, et al. Prevalence, Features, and Prognostic Importance of Edge Dissection After Drug-Eluting Stent Implantation: An ADAPT-DES Intravascular Ultrasound Substudy. *Circ Cardiovasc Interv* 2016; 9(7): e003553. <https://doi.org/10.1161/CIRCINTERVENTIONS.115.003553>
- Brinton TJ, Ali ZA, Hill JM, et al. Feasibility of Shockwave Coronary Intravascular Lithotripsy for the Treatment of Calcified Coronary Stenoses. *Circulation* 2019; 139(6): 834–6. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.118.036531>
- Fujino A, Mintz GS, Matsumura M, et al. A new optical coherence tomography-based calcium scoring system to predict stent underexpansion. *EuroIntervention* 2018; 13(18): e2182–e9. <https://doi.org/10.4244/EIJ-D-17-00962>
- Kurogi K, Ishii M, Nagatomo T, et al. Mean density of computed tomography for predicting rotational atherectomy during percutaneous coronary intervention. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2023; 17(2): 120–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2023.02.002>
- Medina de Chazal HA, Zgheib A, Al Isma'ili A, et al. The Role of CT-Guided Optimal Fluoroscopic Viewing Angle for Coronary Engagement After TAVR. *JACC Case Rep* 2023; 9: 101742. <https://doi.org/10.1016/j.jaccas.2023.101742>
- Conte E, Mushtaq S, Pontone G, et al. Plaque quantification by coronary computed tomography angiography using intravascular ultrasound as a reference standard: a comparison between standard and last generation computed tomography scanners. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2020; 21(2): 191–201. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez089>
- Douglas PS, De Bruyne B, Pontone G, et al. 1-Year Outcomes of FFRCT-Guided Care in Patients With Suspected Coronary Disease: The PLATFORM Study. *J Am Coll Cardiol* 2016; 68(5): 435–45. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.05.057>
- Xaplanteris P, Fournier S, Pijls NHJ, et al. Five-Year Outcomes with PCI Guided by Fractional Flow Reserve. *N Engl J Med* 2018; 379(3): 250–9. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1803538>
- Douglas PS, Nanna MG, Kelsey MD, et al. Comparison of an Initial Risk-Based Testing Strategy vs Usual Testing in Stable Symptomatic Patients With Suspected Coronary Artery Disease: The PRECISE Randomized Clinical Trial. *JAMA Cardiol* 2023. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2023.2595>
- Koo BK, Erglis A, Doh JH, et al. Diagnosis of ischemia-causing coronary stenoses by noninvasive fractional flow reserve computed from coronary

- computed tomographic angiograms. Results from the prospective multicenter DISCOVER-FLOW (Diagnosis of Ischemia-Causing Stenoses Obtained Via Noninvasive Fractional Flow Reserve) study. *J Am Coll Cardiol* 2011; 58(19): 1989–97. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.06.066>
- Patel MR, Norgaard BL, Fairbairn TA, et al. 1-Year Impact on Medical Practice and Clinical Outcomes of FFR(CT): The ADVANCE Registry. *JACC Cardiovasc Imaging* 2020; 13(1 Pt 1): 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.03.003>
- Nagumo S, Collet C, Norgaard BL, et al. Rationale and design of the precise percutaneous coronary intervention plan (P3) study: Prospective evaluation of a virtual computed tomography-based percutaneous intervention planner. *Clin Cardiol* 2021; 44(4): 446–54. <https://doi.org/10.1002/clc.23551>
- Sonck J, Nagumo S, Norgaard BL, et al. Clinical Validation of a Virtual Planner for Coronary Interventions Based on Coronary CT Angiography. *JACC Cardiovasc Imaging* 2022; 15(7): 1242–55. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2022.02.003>
- Vattay B, Boussoussou M, Borzsák S, et al. Myocardial perfusion imaging using computed tomography: Current status, clinical value and prognostic implications. *Imaging* 2021; 13(1): 49–60. <https://doi.org/10.1556/1647.2020.00009>
- Coenen A, Rossi A, Lubbers MM, et al. Integrating CT Myocardial Perfusion and CT-FFR in the Work-Up of Coronary Artery Disease. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017; 10(7): 760–70. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.09.028>
- Pontone G, Baggiano A, Andreini D, et al. Dynamic Stress Computed Tomography Perfusion With a Whole-Heart Coverage Scanner in Addition to Coronary Computed Tomography Angiography and Fractional Flow Reserve Computed Tomography Derived. *JACC Cardiovasc Imaging* 2019; 12(12): 2460–71. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.02.015>
- Vattay B, Borzsák S, Boussoussou M, et al. Association between coronary plaque volume and myocardial ischemia detected by dynamic perfusion CT imaging. *Frontiers in Cardiovascular Medicine* 2022; 9. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.974805>
- Nagy FT, Olajos D, Vattay B, et al. Dynamic Perfusion Computed Tomography for the Assessment of Concomitant Coronary Artery Disease in Patients with a History of Percutaneous Transluminal Angioplasty for Chronic Limb-Threatening Ischemia—A Pilot Study. *Journal of Cardiovascular Development and Disease* 2023; 10(11): 443. <https://doi.org/10.3390/jcdd10110443>
- Sianos G, Werner GS, Galassi AR, et al. Recanalisation of chronic total coronary occlusions: 2012 consensus document from the EuroCTO club. *EuroIntervention*. 2012; 8(1): 139–45. <https://doi.org/10.4244/EIJV81A21>
- Fefer P, Knudtson ML, Cheema AN, et al. Current perspectives on coronary chronic total occlusions: the Canadian Multicenter Chronic Total Occlusions Registry. *J Am Coll Cardiol* 2012; 59(11): 991–7. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.12.007>
- Grantham JA, Marso SP, Spertus J, et al. Chronic total occlusion angioplasty in the United States. *JACC Cardiovasc Interv* 2009; 2(6): 479–86. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2009.02.008>
- Khan MF, Briakakis ES, Wendel CS, et al. Comparison of procedural complications and in-hospital clinical outcomes between patients with successful and failed percutaneous intervention of coronary chronic total occlusions: a meta-analysis of observational studies. *Catheter Cardiovasc Interv* 2015; 85(5): 781–94. <https://doi.org/10.1002/ccd.25712>
- Opolski MP. Cardiac Computed Tomography for Planning Revascularization Procedures. *J Thorac Imaging* 2018; 33(1): 35–54. <https://doi.org/10.1097/RTI.0000000000000262>
- Chen Y, Lu B, Hou ZH, et al. Predicting successful percutaneous coronary intervention in patients with chronic total occlusion: the incremental value of a novel morphological parameter assessed by computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2015; 31(6): 1263–9. <https://doi.org/10.1007/s10554-015-0679-x>
- Opolski MP, Achenbach S, Schuhback A, et al. Coronary computed tomographic prediction rule for time-efficient guidewire crossing through chronic total occlusion: insights from the CT-RECTOR multicenter registry (Computed Tomography Registry of Chronic Total Occlusion Revascularization). *JACC Cardiovasc Interv* 2015; 8(2): 257–67. <https://doi.org/10.1016/j.jcin.2014.07.031>
- Hong SJ, Kim BK, Cho I, et al. Effect of Coronary CTA on Chronic Total Occlusion Percutaneous Coronary Intervention: A Randomized Trial. *JACC Cardiovasc Imaging* 2021; 14(10): 1993–2004. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.04.013>
- Pontone G, Rossi A, Guglielmo M, et al. Clinical applications of cardiac computed tomography: a consensus paper of the European Association of Cardiovascular Imaging-part I. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2022; 23(3): 299–314. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab293>
- Taylor AJ, Cerqueira M, Hodgson JM, et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 appropriate use criteria for cardiac computed tomography. A report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the North American Society for Cardiovascular Imaging, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Am Coll Cardiol* 2010; 56(22): 1864–94. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2010.07.005>