Přehledový článek | Review article

CT koronarografie

(Coronary CT angiography)

Petr Kuchynka^{a,b}, Lukáš Lambert^c, Vladimír Černý^c, Josef Marek^a,
David Ambrož^a, Barbara Anna Danek^a, Aleš Linhart^a

^a II. interní klinika kardiologie a angiologie, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Všeobecná fakultní nemocnice, Praha, Česká republika

^b Mezinárodní centrum klinického výzkumu – Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně, Brno, Česká republika

^c Radiodiagnostická klinika, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Všeobecná fakultní nemocnice, Praha, Česká republika

INFORMACE O ČLÁNKU

Historie článku:

Došel do redakce: 21. 7. 2015

Připraveno: 27. 9. 2015

Přijat: 28. 9. 2015

Dostupný online: 23. 10. 2015

Klíčová slova:

Aterosklerotické pláty

CT koronarografie

Ischemická choroba srdeční

Stenóza

Keywords:

Atherosclerotic plaques

Coronary artery disease

Coronary CT angiography

Stenosis

SOUHRN

CT koronarografie představuje stále častěji využívanou neinvazivní metodu k zobrazení koronárních tepen. V souvislosti s technickým pokrokem umožňujícím zlepšení časového a prostorového rozlišení je CT koronarografie považována při porovnání se selektivní koronarografií za metodu s velice dobrou diagnostickou výtěžností. Cílem tohoto přehledového článku je seznámit čtenáře s možným klinickým využitím této zobrazovací metody. Probrány jsou i základní požadavky týkající se výběru nemocných vhodných pro tento typ vyšetření a zmíněna jsou i základní pravidla přípravy nemocných na vyšetření.

© 2015, ČKS. Published by Elsevier sp. z o.o. All rights reserved.

ABSTRACT

Coronary CT angiography (coronary CTA) represents an increasingly applied noninvasive method for coronary artery imaging. Due to technical development and improved spatial and temporal resolution of CT, high diagnostic value of coronary CTA is reported when compared to conventional selective angiography. The aim of this review is to present an overview of the clinical applications of coronary CTA. Important factors in patient selection and preparation are also briefly discussed.

Úvod

Ischemická choroba srdeční (IHS) představuje ve vyspělých zemích hlavní příčinu morbiditu a mortality [1]. Selektivní koronarografie (SKG) byla donedávna jedinou metodou schopnou zobrazit koronární tepny a i v současnosti je SKG stále považována za zlatý standard v hodnocení větvitých tepen [2]. První zmínky o experimentálním využití CT koronarografie se datují již do roku 1976 a jsou

spojovány s Harrelem a jeho vědeckým týmem [3]. Trvalo to však ještě více než 20 let, než se podařilo vyvinout CT přístroje, které by byly použitelné k zobrazení koronárních tepen i v klinické praxi. Teprve přístroje vybavené 16, respektive 64 řadami detektorů, zavedené do klinické praxe v letech 2003 a 2004, splňovaly potřebné technické požadavky k tomu, aby mohly být využity pro zobrazení koronárních tepen v běžné praxi [4]. V souvislosti s technickým pokrokem a zvyšujícími se požadavky na kvalitu

Adresa: MUDr. Petr Kuchynka, Ph.D., II. interní klinika kardiologie a angiologie, 1. lékařská fakulta Univerzity Karlovy a Všeobecná fakultní nemocnice, U Nemocnice 2, 128 08 Praha 2, e-mail: petr.kuchynka@vfn.cz

DOI: 10.1016/j.crvasa.2015.09.008

zobrazení koronárních tepen by měla být CT koronarografie v současnosti prováděna pouze na přístrojích vybavených 64 či více řadami detektorů.

Základní technické aspekty zobrazení koronárních tepen

Při zobrazování věnčitých tepen CT koronarografií existují určitá technická specifika, která by měla být ve stručnosti probrána. Vyšetření koronárních tepen výpočetní tomografií je vždy prováděno se simultánní registrací EKG křivky. Používány jsou dvě základní techniky záznamu: prospektivní triggering a retrospektivní gating. Při prospektivním triggeringu jsou data získávána pouze v předem určené fázi srdečního cyklu. Vybírány bývají části srdečního cyklu, kde se srdce relativně nejméně pohybuje, a minimalizovány jsou tak nežádoucí pohybové artefakty. Volena tak bývá u většiny nemocných střední část diastoly (u nemocných s rychlejší srdeční frekvencí bývá někdy upřednostňováno snímání v oblasti ke konci systoly). U nemocných vyšetřovaných retrospektivním gatingem jsou data získávána během celého srdečního cyklu a k vlastní rekonstrukci, respektive hodnocení jsou využívány fáze srdečního cyklu s nejmenším množstvím pohybových či jiných artefaktů. Prospektivní EKG triggering se využívá častěji s ohledem na obvykle výrazně nižší dávku radiace (u tohoto typu snímání se dávka radiace

pohybuje mezi 2 a 6 mSv, zatímco u retrospektivního typu skenování je dávka mezi 6 a 20 mSv). Zásadní nevýhoda tohoto typu vyšetření spočívá v tom, že jsou získávány informace o srdci a jeho částech jen v předem určené fázi srdečního cyklu, a není tedy možné provádět funkční hodnocení srdce (například hodnocení ejekční frakce levé či pravé komory). CT koronarografie je vždy kontrastním vyšetřením. Podáváno bývá většinou 50–100 ml kontrastní látky. Upřednostňováno bývá využití kontrastních látek s vysokou koncentrací jodu (například 350 mg/ml či 400 mg/ml) ve snaze o optimalizaci poměru mezi kontrastem a šumem a o zlepšení výsledné kvality získaného obrazu. K zabezpečení dostatečně rychlého přítoku kontrastní látky do srdce bývá nutné zajištění vhodného přístupu do žilního řečiště. Většinou bývají zaváděny periferní žilní kanyly dostatečného průsvitu (20 či 18 G) do oblasti předloktí a rychlost aplikace kontrastní látky se obvykle pohybuje v rozmezí 4–7 ml/s. Ve snaze o optimalizaci kvality získaných obrázků potřebujeme zajistit vysokou opacifikaci v tepenném řečišti, obvykle je uváděna denzita > 250 Hounsfieldových jednotek (HU). Důležité je však nejen dosažení vhodné opacifikace koronárních tepen, ale i její udržení po dobu potřebné délky akvizice. K tomuto účelu se používají dvě techniky. První z nich je nazývána bolus tracking a spočívá v tom, že v oblasti zájmu (levá síň či ascendentní nebo descendentní aorta) je v jedno- až dvousekundových intervalech snímána aktuální hodnota denzity a při dosažení předem zvolené prahové hodnoty

Tabulka 1 – Vhodné indikace na základě doporučení Společnosti pro kardiovaskulární výpočetní tomografii [7]

1) Detekce ICHS u symptomatických jedinců bez známé ICHS

A) Pacienti se suspektní stabilní formou ICHS a anginózními obtížemi

- nízká předtestová pravděpodobnost ICHS a nediagnostické EKG nebo neschopnost podstoupit zátěžové vyšetření
- střední předtestová pravděpodobnost ICHS a hodnotitelné EKG a schopnost podstoupit zátěžové vyšetření
- střední předtestová pravděpodobnost ICHS a nediagnostické EKG nebo neschopnost podstoupit zátěžové vyšetření
- normální zátěžové EKG a pokračující symptomy
- diskordance mezi zátěžovým EKG a výsledky zobrazovacích metod
- nejednoznačné zátěžové vyšetření

B) Pacienti se suspektním akutním koronárním syndromem

- nízká předtestová pravděpodobnost ICHS, normální EKG a negativní kardiospecifické enzymy
- nízká předtestová pravděpodobnost ICHS a nediagnostické EKG nebo nesignifikantně zvýšené kardiospecifické enzymy
- nízká předtestová pravděpodobnost ICHS a nehodnotitelné EKG
- střední předtestová pravděpodobnost ICHS, normální EKG a negativní kardiospecifické enzymy
- střední předtestová pravděpodobnost ICHS a nediagnostické EKG nebo nesignifikantně zvýšené kardiospecifické enzymy
- střední předtestová pravděpodobnost ICHS a nehodnotitelné EKG

2) Detekce ICHS u nemocných s nově zjištěným srdečním selháním a sníženou systolicou funkcí levé komory nemajících anamnézu ICHS

- nízká nebo střední předtestová pravděpodobnost ICHS a snížená ejekční frakce levé komory

3) Detekce ICHS u pacientů podstupujících kardiokirurgickou operaci netýkající se koronárního řečiště

- střední předtestová pravděpodobnost ICHS

4) Hodnocení u nemocných po CABG

- vyšetření průchodnosti bypassů u pacientů s anginózními obtížemi
- lokalizace bypassů před kardiokirurgickou reoperací

5) Hodnocení po PCI u asymptomatických jedinců

- pacienti po PCI kmene levé koronární tepny s použitím stentu ≥ 3 mm

6) Hodnocení anomálií koronárních tepen

CABG – aortokoronární bypass; ICHS – ischemická choroba srdeční; PCI – perkutánní koronární intervence.

HU je spouštěno skenování. Druhá technika je založena na podání malého bolusu kontrastní látky a sledování času, během kterého dosáhneme požadované denzity v oblasti zájmu (opět například v oblasti levé síně). Tento změřený časový interval je pak využit k vlastnímu skenování koronárních tepen.

Příprava pacienta na vyšetření

Nemocným, u kterých je v plánu provedení CT koronarografie, bývají dávána následující doporučení [5]: 1) nejíst čtyři hodiny před vyšetřením; 2) pití vody nebo čirých tekutin je do provedení vyšetření nejen povoleno, ale je i doporučováno, a to především ve snaze snížit pravděpodobnost vzniku kontrastové nefropatie a také usnadnit zavedení žilního vstupu; 3) nápoje obsahující kofein by neměly být přijímány 12 hodin před vyšetřením, jelikož kofein může vést ke zvýšení tepové frekvence či znesnadňovat snížení tepové frekvence námi podávaných bradykardizujících léků; 4) nemocní by měli užít svoji chronickou medikaci na svá srdeční onemocnění, a to zejména užít své léky snižující srdeční frekvenci; 5) u nemocných s pozitivní alergickou anamnézou užít adekvátní protialergickou přípravu; 6) bývá rovněž doporučováno vysazení metforminu na 48 hodin po vyšetření, což je však v současnosti spíše zpochybňováno; 7) u nemocných se srdeční frekvencí $\geq 65/\text{min}$ podat bradykardizující léky jako zejména beta-blokátory nebo jiná negativně chronotropně působící farmaka typu ivabradinu [6] či verapamilu s cílem dosáhnout tepové frekvence 50–60/min, a snížit tak množství pohybových artefaktů (na našem pracovišti podáváme intravenózně 1–2 minuty před vyšetřením krátkodobě působící beta-blokátor esmolol); 8) doporučeno je u nemocných, u kterých není přítomna kontraindikace, podat několik minut před vyšetřením nitráty (většinou aplikovány dva vstřiky sublingválně), abychom zlepšili hodnotitelnost koronárního řečiště.

Výběr pacientů

Výběr nemocných, kteří jsou vhodnými kandidáty CT koronarografie, je nesmírně důležitý. Seznam uznávaných indikací k provedení CT koronarografie sestavený Společností pro kardiovaskulární výpočetní tomografii a dalšími odbornými společnostmi [7] je uveden v tabulce 1. Je potřeba zdůraznit, že ne všichni nemocní se správnou indikací k CT koronarografii jsou však pro toto vyšetření skutečně vhodní. Je nezbytné, aby pacienti, kteří mají podstoupit CT koronarografii, byli schopni dodržovat základní instrukce, mezi které patří zejména schopnost vydržet ležet v klidu na zádech po dobu vyšetření a schopnost zadržet dech po dobu skenování [8]. Mezi nevhodné kandidáty tohoto vyšetření patří rovněž nemocní s tachykardií, zejména pak nemocní s nepravidelnými délkami trvání intervalů R–R, typicky při fibrilaci síní nebo četné extrasystolii. Donedávna se považovala nepravidelná srdeční frekvence $> 80/\text{min}$ za relativní kontraindikaci [4]. Nicméně v souvislosti s technickým zdokonalením softwarového a hardwarového vybavení CT přístrojů (přístroje s ≥ 64 řadami detektorů, dvěma zdroji záření atd.) se i u řady

Obr. 1 – 3D obrázek zachycující normální nález na koronárních tepnách

těchto nemocných daří dosahovat přijatelné kvality zobrazení. Vlastní rozhodnutí, zda bude CT koronarografie u nemocného s vyšší srdeční frekvencí vůbec prováděna, závisí nejen na hodnotě srdeční frekvence, ale rovněž na technickém vybavení daného pracoviště. U nemocných s vyšší tepovou frekvencí a zvýšenou variabilitou srdeční frekvence ($> 5/\text{min}$) je často potřeba provést vyšetření označované jako retrospektivní gating, které je spojeno se zvýšením radiační dávky [9].

Využití CT koronarografie v klinické praxi

Suspektní stabilní forma ICHS

Za nejdůležitější a nejčastější indikaci CT koronarografie je považováno vyloučení ICHS u nemocných s nízkou nebo lépe střední předtestovou pravděpodobností vzniku ICHS a suspektními anginózními obtížemi či obtížemi, které by mohly být považovány za jejich ekvivalent. Další klinicky velice užitečnou indikaci představuje vyloučení ICHS u nemocných s nízkou či střední předtestovou pravděpodobností vzniku ICHS a s nově zjištěným srdečním selháním se systolickou dysfunkcí levé komory, a to zejména u jedinců bez anginózních obtíží. CT koronarografii lze rovněž indikovat u nemocných se střední předtestovou pravděpodobností vzniku ICHS podstupujících kardiochirurgickou operaci nezahrnující chirurgickou revaskularizaci myokardu. Publikováno bylo mnoho monocentrických a multicentrických studií, které hodnotily diagnostickou výtěžnost CT koronarografie v detekci stenóz koronárních tepen [10–12]. Na základě dosud dostupných dat je u CT koronarografie vyzdvihována zejména její velice dobrá negativní prediktivní hodnota (obráz. 1). Velice nedávno Menke a Kowalski publikovali metaanalýzu zahrnující 30 studií (s 3 422 pa-

cienty) provedených mezi roky 2005 a 2013, která porovnávala diagnostickou výtěžnost CT koronarografie vůči zlatému standardu reprezentovanému SKG [13]. Většina studií (22 studií s 2 593 nemocnými) v této metaanalýze byla prováděna na CT přístrojích vybavených minimálně 64 řadami detektorů či dvěma zdroji záření. Senzitivita CT koronarografie byla vypočtena na 93,9 % a specifická na 79,2 %. U nemocných vyšetřených na CT přístrojích s minimálně 64 řadami detektorů byla senzitivita ještě vyšší, a to 95,6 %, a specifická dosáhla 81,5 %.

CT koronarografii však není vhodné provádět k vyloučení ICHS u nemocných s vysokou předtestovou pravděpodobností vzniku ICHS (například u starších mužů či žen s typickou anginou pectoris), kde je její diagnostická výtěžnost jistě omezena. Využití CT koronarografie u této skupiny nemocných lze však zvážit ve vzácných případech, kdy je vhodné významné stenózy koronárních tepen vyloučit a provedení SKG je velice rizikové (například u nemocných s objemnými mobilními vegetacemi na aortální chlopni, u kterých se plánuje kardiochirurgická operace).

Suspektní akutní koronární syndrom

CT koronarografie představuje alternativu k SKG u nemocných se suspektním akutním koronárním syndromem, kteří mají nízkou nebo střední předtestovou pravděpodobnost vzniku ICHS a jejich EKG je buď zcela normální, nebo zachycuje nesignifikanční repolarizační změny a stanovené kardiospecifické enzymy (zejména tropoiny) jsou v pásmu normálních hodnot či jsou nesignifikančně zvýšeny. Čtyři randomizované studie: CT-STAT [14], ACRIN-PA [15], ROMICAT II [16] a CT-COMPARE [17] porovnávaly u více než 3 000 nemocných se suspektním akutním koronárním syndromem a nízkou či střední předtestovou pravděpodobností ICHS léčbu pacientů založenou na provedení CT koronarografie versus na základě standardního postupu, kdy CT koronarografie prováděna nebyla. V těchto studiích bylo zjištěno, že nemocní s negativním nálezem na CT koronarografii mohou být odesláni domů s velice nízkým rizikem (< 1 %) závažných kardiovaskulárních příhod a že tento přístup redukuje délku pobytu pacientů v nemocnici a snižuje náklady vynaložené na péči o tuto skupinu nemocných [18].

Aterosklerotické pláty v koronárních tepnách

Aterosklerotické pláty se začínají v koronárních tepnách objevovat již dlouho předtím, než začnou zásadněji zužovat jejich lumen. V počátečních stádiích tak můžeme pozorovat expanzi plátu mimo vlastní lumen cévy označované jako pozitivní remodelace [19]. Nicméně i toto časné stadium aterosklerózy je spojeno se zvýšeným rizikem kardiovaskulárních příhod. Výhodou CT koronarografie oproti SKG je skutečnost, že může nejen hodnotit lumen cévy, ale rovněž i vlastní stěnu cévy, a je tak schopna zjišťovat i časné fáze poškození koronárních tepen. Při vyšetření věnčitých tepen výpočetní tomografií rozlišujeme aterosklerotické pláty na základě přítomnosti či absence vápníku na kalcifikované, nekalcifikované a smíšené [20] (obr. 2). Bližší specifikace nekalcifikovaných plátů na základě hodnoty denzity v HU na pláty s výraznou lipidní složkou či převážně fibrotickou komponentou je však velice obtížné. Existují sice práce dokumentující dobrou korelaci mezi denzitou zjišťovanou CT vyšetře-

Obr. 2 – Zobrazen je objemný nekalcifikovaný plát v proximální části ramus interventricularis anterior.

ním a echogenicitou detekovanou intravaskulárním ultrazvukem, u řady typů plátů však dochází k překryvu těchto základních sledovaných hodnot. I přes tyto limity lze říci, že pláty s nízkou denzitou (< 30 HU) jsou častěji nestabilní a bývají zjišťovány častěji u nemocných s akutními koronárními syndromy než u nemocných se stabilní formou ICHS [21]. Vztah mezi kalcifikací plátu a jeho stabilitou závisí na množství a distribuci kalcia v aterosklerotickém plátu. Zatímco pláty těžce kalcifikované bývají stabilní, pláty s drobnými (< 1 mm) kalcifikacemi bývají spojeny s akcelerací aterosklerotického procesu a vulnerabilitou plátu [22]. Za typický znak nestability plátu bývá považován tzv. napkin-ring sign. Jedná se o typ plátu s velkým nekrotickým jádrem, který má na příčném řezu při CT vyšetření dvě základní složky: centrální oblast nízké CT atenuace, která je v kontaktu s lumen cévy, a prstencovitou zevní zónu vyšší CT atenuace [20].

Anomálie koronárních tepen

Prevalence koronárních anomálií se velice liší podle různých literárních zdrojů. Koronární anomálie můžeme dělit na abnormality jejich vzniku, průběhu nebo terminace [23]. Z klinického pohledu (u dospělých) mají největší význam anomální odstupy pravé a levé koronární tepny z neadekvátních koronárních sinů (obr. 3). Tato patologie se vyskytuje přibližně u 1 % nemocných [24]. Tento typ koronární anomálie je spojen se zvýšeným rizikem náhlé srdeční smrti u nemocných, kde koronární tepna probíhá interarteriálně mezi plicnicí a aortou. CT koronarografie je v hodnocení anomálie přínosnější než SKG, jelikož zjistí nejen abnormalitu odstupe koronární tepny, ale rovněž přesně zhodnotí její průběh. CT koronarografie je tak prováděna buď jako metoda první volby k vyloučení koronární anomálie, anebo následuje provedenou SKG v případě, že se nepodařilo anomální koronární tepnu zobrazit či výrazně častěji k ozřejmání průběhu anomálie věnčité tepny.

Obr. 3 – 3D obrázek zachycující interarteriální průběh pravé koronární tepny vycházející abnormálně z levého koronárního sinu

Aortokoronární bypassy (CABG)

U nemocných, kteří již podstoupili kardiokirurgickou revaskularizaci myokardu, mohou být anginózní obtíže podmíněny zúžením či uzávěrem našitého bypassu nebo jsou vyvolány progresí aterosklerotického poškození nativního koronárního řečiště. Při CT koronarografii je obvykle snadnější kvalitně zobrazit a validně zhodnotit poškození v oblasti žilních aortokoronárních bypassů než bypassů využívajících mamární tepny. Příčinou obtížnějšího hodnocení těchto tepenných bypassů bývá jejich menší rozměr a přítomnost kovových klipů v jejich průběhu způsobujících artefakty. Náročnější bývá především hodnocení distálních anastomóz bypassů s ohledem na to, že tyto segmenty se více pohybují a bývají zde častěji kalcifikace a kovové klipy. I přes tato úskalí je diagnostická výtěžnost CT koronarografie v detekci stenóz či okluzí bypassů velice dobrá a senzitivita i specifická se pohybují okolo 95 % [25] (obr. 4). Na rozdíl od výše uvedeného je přínos CT koronarografie při hodnocení nativního řečiště u nemocných po CABG velice limitován. Důvodem bývá nejen přítomnost pokročilého aterosklerotického poškození nativního koronárního řečiště, ale zejména jeho kalcifikační změny.

Stenty v koronárních tepnách

V současnosti je u většiny nemocných indikovaných k perkutánní koronární intervenci implantován do koronárního řečiště stent (obr. 5). Hodnocení průchodnosti stentu je ve srovnání s posuzováním nativního řečiště při CT koronarografii náročnější. Hlavními příčinami složitějšího posuzování oblastí po stentingu bývá přítomnost několika typů artefaktů (například tzv. beam hardening), které často vytvářejí nesprávný dojem zužování ve stentu. Obecně je vždy snadnější hodnotit stenty s průměry ≥ 3 mm [26]. Při použití intravaskulárního ultrazvuku jako referenční metody pro hodnocení in-stent restenózy byla senzitivita respektive specifická CT koronarografie

u stentů < 3 mm 67 %, respektive 78 % a u stentů ≥ 3 mm 89 %, respektive 100 %. Diagnostická výtěžnost je však ovlivněna nejen rozměry použitých stentů, ale i jejich vlastní charakteristikou [27]. S ohledem na limitace spojené s hodnocením stentů se považuje za jednoznačně indikované pouze provádění CT koronarografie s cílem zhodnotit průchodnost stentů v kmeni levé věnčité tepny u nemocných bez anginózních obtíží.

Obr. 4 – 3D obrázek zachycující normální nález na mamárním bypassu na ramus interventricularis anterior; zobrazen je i venózní bypass na ramus marginalis.

Obr. 5 – V zakřivené multiplanární rekonstrukci je zobrazen dobře průchodný stent v ramus interventricularis anterior.

Obr. 6 – Zobrazena je oblast snížené atenuace v subendokardiální části spodní stěny levé komory odpovídající prodělanému infarktu myokardu.

Současné trendy v CT vyšetření koronárních tepen

Mezi hlavní nevýhody CT koronarografie patří zejména skutečnost, že při srovnání s SKG nadhodnocuje významnost stenóz koronárních tepen a není schopna nás informovat o funkční významnosti hraničně významných stenóz. Potřebné se tak jeví zobrazovací techniky, které nám jsou schopny poskytnout informace nejen o morfologickém postižení koronárních tepen, ale i o jeho funkčním dopadu. Informace o funkční významnosti stenóz nám může přinést perfuzní CT vyšetření myokardu (myocardial CT perfusion) a CT hodnotící

frakční průtokovou rezervu (fractional flow reserve-CT – FFR-CT) (obr. 6).

Při vyšetření zátěžové myokardiální perfuze zkoumáme atenuaci myokardu po podání vasodilatačně aktivních látek typu adenosinu, dypiridamolu či regadenosonu. Velice nedávno byla publikována velká multicentrická studie zkoumající význam kombinace provedení CT koronarografie a perfuzního CT vyšetření myokardu v hodnocení hemodynamicky významných stenóz (tyto metody byly srovnávány s referenčními metodami reprezentovanými SKG a SPECT myokardu) [28]. CT koronarografie dosahovala diagnostické správnosti (per-patient/ per-vessel) v 69/73 %, pokud byla prováděna izolovaně, a 75/79 %, pokud byla kombinována s perfuzním vyšetřením myokardu.

FFR-CT je nová technologie, která by měla být schopna neinvazivně hodnotit frakční průtokovou rezervu, a posoudit tak hemodynamickou významnost stenóz. Tato nadějná a v současnosti pouze výzkumná technologie je založena na sofistikovaných složitých počítačových algoritmech modelujících dynamiku tekutin, které jsou aplikovány na proudění krve v koronárních tepnách [29]. Z dosud provedených randomizovaných studií porovnávajících FFR-CT se zlatým standardem představovaným invazivně měřenou frakční průtokovou rezervou se tato CT technologie jeví jako velice slibná a měla by nám do budoucna být schopna poskytovat informace o hemodynamickém dopadu hraničně významných stenóz zjišťovaných při CT koronarografii [30].

Závěr

CT koronarografie představuje v současnosti jedinou neinvazivní metodu, která je schopna validně zobrazit většinu tepen a poskytnout tak možnou alternativu k selektivní koronarografii. Význam CT koronarografie se zdá být nejvýraznější zejména k vyloučení ICHS u nemocných se střední předtestovou pravděpodobností vzniku ICHS. Nadějně se zdají být techniky kombinující současné provedení CT koronarografie s myokardiální perfuzí nebo frakční průtokovou rezervou.

Prohlášení autorů o možném střetu zájmů

Žádný střet zájmů.

Financování

Žádné.

Prohlášení autorů o etických aspektech publikace

Etické otázky se v publikaci neobjevují.

Literatura

- [1] A.S. Go, D. Mozaffarian, V.L. Roger, et al., American Heart Association Statistics Committee and Stroke Statistics Subcommittee, Executive summary: heart disease and stroke statistics – 2013 update: a report from the American Heart Association, *Circulation* 127 (2013) 143–152.
- [2] J. Eckert, M. Schmidt, A. Magedanz, et al., Coronary CT angiography in managing atherosclerosis, *International Journal of Molecular Sciences* 16 (2015) 3740–3756.

- [3] J. Geleins, M. Dewey, Physics background and radiation exposure, in: M. Dewey (Ed.), *Cardiac CT*, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, 59–71.
- [4] C.M. Kramer, M.J. Budoff, Z.A. Fayad, et al., A report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training, *Journal of the American College of Cardiology* 50 (2007) 1097–1114.
- [5] S. Abbara, A. Arbab-Zadeh, T.Q. Callister, et al., SCCT guidelines for performance of coronary computed tomographic angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee, *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* 3 (2009) 190–204.
- [6] F. Cademartiri, J. Garot, M. Tenders, J.L. Zamorano, Intravenous ivabradine for control of heart rate during coronary CT angiography: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial, *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* 9 (2015) 286–294.
- [7] A.J. Taylor, M. Cerqueira, J.M. Hodgson, 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, *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* 4 (2010) 407.e1–33.
- [8] D.B. Mark, D.S. Berman, M.J. Budoff, et al., ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents, *Circulation* 121 (2010) 2509–2543.
- [9] A. Sabarudin, Z. Sun, Coronary CT angiography: diagnostic value and clinical challenges, *World Journal of Cardiology* 5 (2013) 473–483.
- [10] J.M. Miller, C.E. Rochitte, M. Dewey, et al., Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT, *New England Journal of Medicine* 359 (2008) 2324–2336.
- [11] M.J. Budoff, D. Dowe, J.G. Jollis, et al., Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial, *Journal of the American College of Cardiology* 52 (2008) 1724–1732.
- [12] W.B. Meijboom, M.F. Meijs, J.D. Schuijf, et al., Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography: a prospective, multicenter, multivendor study, *Journal of the American College of Cardiology* 52 (2008) 2135–2144.
- [13] J. Menke, J.J. Kowalski, Diagnostic accuracy and utility of coronary CT angiography with consideration of unevaluable results: a systematic review and multivariate Bayesian random-effects meta-analysis with intention to diagnose, *European Radiology* (2015), <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-015-3831-z> [Epub ahead of print].
- [14] J.A. Goldstein, K.M. Chinnaiyan, A. Abidov, et al., The CT-STAT (Coronary Computed Tomographic Angiography for Systematic Triage of Acute Chest Pain Patients to Treatment) trial, *Journal of the American College of Cardiology* 58 (2011) 1414–1422.
- [15] H.I. Litt, C. Gatsonis, B. Snyder, et al., CT angiography for safe discharge of patients with possible acute coronary syndromes, *New England Journal of Medicine* 366 (2012) 1393–1403.
- [16] U. Hoffmann, Q.A. Truong, D.A. Schoenfeld, et al., Coronary CT angiography versus standard evaluation in acute chest pain, *New England Journal of Medicine* 367 (2012) 299–308.
- [17] C. Hamilton-Craig, A. Fifoot, M. Hansen, et al., Diagnostic performance and cost of CT angiography versus stress ECG – a randomized prospective study of suspected acute coronary syndrome chest pain in the emergency department (CT-COMPARE), *International Journal of Cardiology* 177 (2014) 867–873.
- [18] R.C. Cury, President's page: implementation of coronary CT angiography to assess chest pain patients in the Emergency Department – a call for action! *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* 9 (2015) 156–157.
- [19] P. Schoenhagen, H. Niinuma, T. Gerber, M. Dewey, Coronary artery plaques, in: M. Dewey (Ed.), *Cardiac CT*, Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag, 2011, 191–200.
- [20] P. Maurovich-Horvat, M. Ferencik, S. Voros, et al., Comprehensive plaque assessment by coronary CT angiography, *Nature Reviews Cardiology* 11 (2014) 390–402.
- [21] S. Motoyama, T. Kondo, M. Sarai, et al., Multislice computed tomographic characteristics of coronary lesions in acute coronary syndromes, *Journal of the American College of Cardiology* 50 (2007) 319–326.
- [22] J.E. van Velzen, F.R. de Graaf, M.A. de Graaf, et al., Comprehensive assessment of spotty calcifications on computed tomography angiography: comparison to plaque characteristics on intravascular ultrasound with radiofrequency backscatter analysis, *Journal of Nuclear Cardiology* 18 (2011) 893–903.
- [23] S.Y. Kim, J.B. Seo, K.H. Do, et al., Coronary artery anomalies: classification and ECG-gated multi-detector row CT findings with angiographic correlation, *Radiographics* 26 (2006) 317–333.
- [24] P. Angelini, Coronary artery anomalies: an entity in search of an identity, *Circulation* 115 (2007) 1296–1305.
- [25] T.S. Meyer, S. Martinoff, M. Hadamitzky, et al., Improved noninvasive assessment of coronary artery bypass grafts with 64-slice computed tomographic angiography in an unselected patient population, *Journal of the American College of Cardiology* 49 (2007) 946–950.
- [26] R.K. Munnur, J.D. Cameron, B.S. Ko, et al., Cardiac CT: atherosclerosis to acute coronary syndrome, *Cardiovascular Diagnosis and Therapy* 4 (2014) 430–448.
- [27] Z. Sun, A.M. Almutairi, Diagnostic accuracy of 64 multislice CT angiography in the assessment of coronary in-stent restenosis: a meta-analysis, *European Journal of Radiology* 73 (2010) 266–273.
- [28] T.A. Magalhães, S. Kishi, R.T. George, et al., Combined coronary angiography and myocardial perfusion by computed tomography in the identification of flow-limiting stenosis – the CORE320 study: an integrated analysis of CT coronary angiography and myocardial perfusion, *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* (March) (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcct.2015.03.004>, pii:S1934-5925(15)00094-5.
- [29] B.K. Koo, The present and future of fractional flow reserve, *Circulation* 78 (2014) 1048–1054.
- [30] J.K. Min, J. Leipsic, M.J. Pencina, et al., Diagnostic accuracy of fractional flow reserve from anatomic CT angiography, *Journal of the American Medical Association* 308 (2012) 1237–1245.

Z anglického originálu online verze článku přeložil autor.