

Kardiológia v roku 2017

Zobrazovacie metodiky

Victoria Delgado¹, Juhani Knuuti², Sven Plein³, Stephan Achenbach⁴, Jeroen J. Bax^{1*}

¹Department of Cardiology, Leiden University Medical Center, Albinusdreef 2, 2300 RC Leiden, The Netherlands;

²Turku PET Centre, University of Turku and Turku University Hospital, Kiinamyllynkatu 4-8, 20520 Turku, Finland;

³Multidisciplinary Cardiovascular Research Centre & Division of Biomedical Imaging, Leeds Institute of Cardiovascular and Metabolic Medicine, University of Leeds, Clarendon Wing, Leeds General Infirmary, Great George St, Leeds, LS1 3EX, UK; and ⁴Department of Cardiology, Friedrich-Alexander-Universität, Krankenhausstr. 12, 91054 Erlangen, Germany

Predslov

Vedecká publikácia „Rok 2017 v kardiológii“ prezentuje široký prehľad poznatkov, publikovaných o neinvazívnom kardiovaskulárnom zobrazovaní. Vo všeobecnosti sa akceptuje, že echokardiografia je zobrazovacia technika prvej voľby pri hodnotení pacientov s kardiovaskulárnymi symptómami. Iné techniky (nukleárne zobrazovanie, kardiovaskulárna magnetická rezonancia a počítačová tomografia) sú potrebné na zobrazenie charakteristík, špecifických pre konkrétne ochorenie alebo na zobrazenie patofyziologických mechanizmov, ktoré môžu ovplyvňovať manažment pacienta. Exponenciálne pribúdajú dôkazy, dokumentujúce narastajúcu diagnostickú a prognostickú hodnotu kombinácie zobrazovacích techník alebo hybridného (“fusion”) zobrazovania. Pokroky v neinvazívnom zobrazovaní srdca poskytli dôležité nové pohľady na patofyziológiu chlopňových ochorení srdca a kardiomyopatií, stratifikáciu rizika pacientov so suponanou koronárnou artériovou chorobou a na diagnostiku komplikácií vo vzťahu k implantovaným prístrojom alebo bioprotézam. Tento článok poskytuje prehľad najdôležitejších článkov, publikovaných v roku 2017.

Echokardiografia

Význam echokardiografie v diagnostike valvulárnych ochorení srdca zdôraznila OxValve Population Cohort Study, ktorá zahrnula 2 500 pacientov vo veku 65 rokov alebo starších bez známej chlopňovej chyby srdca (1). Jedna z dvoch osôb staršej populácie mala novodiagnostikovanú (prevažne miernu) chlopňovú chybu: 34 % malo aortálnu sklerózu, 22 % mitrálnu regurgitáciu a 15 % aortálnu regurgitáciu. Stredne ťažká alebo ťažká nedidiagnostikovaná chlopňová chyba sa zistila u 6,4 % pacientov. Zaujímavé je, že stredne ťažká a ťažká chlopňová chyba boli trikrát častejšie u pacientov s fibriláciou predsiení (FP), ktorú bolo možné považovať za marker asymptomatickej významnej chlopňovej choroby srdca. Projekcie vychádzajúce z OxValve Population Cohort Study naznačujú, že počet osôb vo veku 65 rokov alebo starších narastie vo Veľkej Británii z 1,5 milióna roku 2015 na tri milióny v roku 2046. Výsledky tejto štúdie poskytujú ďalšie pohľady na patofyziológiu a prirodzený priebeh chlopňového ochorenia srdca a majú dôležité dôsledky pre manažment starších pacientov v súčasnej ére narastajúcich pokrokov v transkatétrovej liečbe.

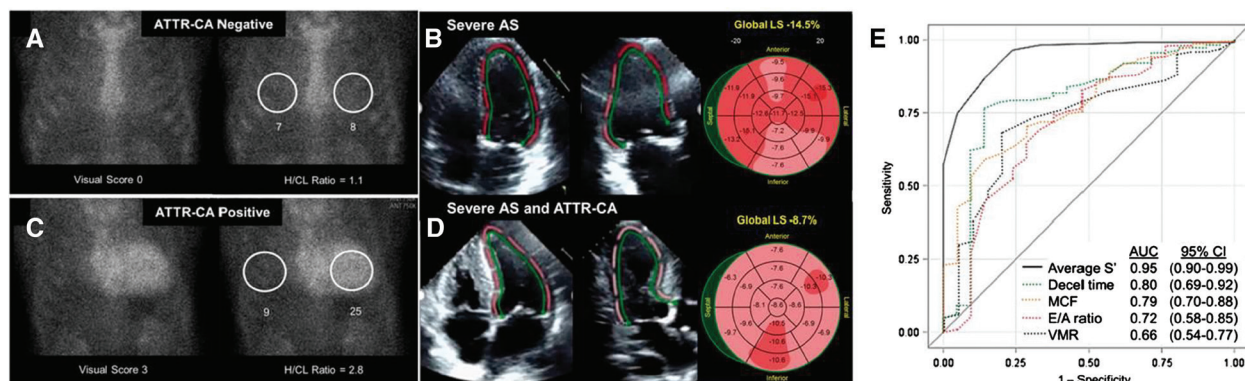
Manuskript odoslaný 7. novembra 2017; rozhodnutie editora 8. decembra 2017; prijatý 9. decembra 2017; online publikovaný 2. januára 2018

Názory vyjadrené v tomto článku nie sú nevyhnutne názormi editorov časopisu European Heart Journal alebo Európskej kardiologickej spoločnosti. *Korešpondujúci autor. tel.: +31 71 526 2020, fax: +31 71 526 6809, e-mail: j.j.bax@lumc.nl

Publikované v mene Európskej kardiologickej spoločnosti. Všetky práva vyhradené. © Autori 2018. Kvôli získaniu súhlasov kontaktujte, prosím, e-mail: journals.permissions@oup.com

Originál článku: Victoria Delgado, Juhani Knuuti, Sven Plein, Stephen Achenbach, and Jeroen J. Bax. The year in cardiology 2017: imaging. European Heart Journal 2018;39:275–285, doi:10.1093/eurheartj/ehx759. With permission for published figures in article.

Za správnosť prekladu zodpovedá: Juraj Dúbrava



Obrázok “take home” Transtyreínová srdcová amyloidóza u pacientov s ťažkou aortálnou stenózou. Panely A a B zobrazujú technécium-^{99m}pyrofosfátovú (^{99m}Tc-PYP) scintigrafiu srdca a “bull’s eye” globálneho longitudinálneho strainu ľavej komory u pacienta bez transtyreínovej srdcovej amyloidózy. ^{99m}Tc-PYP scintigrafia srdca pozitívna v zmysle transtyreínovej srdcovej amyloidózy znázorňuje zvýšený srdcovo-kontralaterálny pomer (H/CL) (panel C) a výraznejšie zhoršenie globálneho longitudinálneho strainu LK (panel D). Panel E zobrazuje receiver operating krivky (grafy prahovej operačnej charakteristiky) pre niekoľko echokardiografických parametrov systolickej a diastolickej dysfunkcie ľavej komory. S’ merané tkanivovou Dopplerovskou echokardiografiou má najväčšiu plochu pod krivkou na predikciu pozitívity ^{99m}Tc-PYP scintigrafie srdca v zmysle transtyreínovej srdcovej amyloidózy. Reprodukované so súhlasom Castano et al. (3)

AS – aortálna stenóza, ATTR-CA – transtyreínová srdcová amyloidóza, AUC – plocha pod krivkou, CI – konfidenčný interval, Decel – decelerácia, H/CL – srdcovo-kontralaterálny pomer, LS – longitudinálny strain, MCF – myokardiálna kontrakčná frakcia, VMR – pomer voltáž/masa

Selekcia pacientov, ktorí môžu mať benefit z chlopňových intervencií sa zakladá na symptómoch a vplyvoch abnormálnych parametrov zaťaženia na srdcové dutiny. Rozsah kardiálneho poškodenia, spôsobený abnormálnou hemodynamikou chlopni je dôležitým morbimortalitným determinantom u pacientov s chlopňovým ochorením srdca. V štúdiách Placement of Aortic Transcatheter Valves (PARTNER)-2 bolo klasifikovaných 1 661 pacientov s ťažkou stenózou do štyroch štádií v závislosti od echokardiograficky zhodnutej lézie srdca: bez extravalvulárnej lézie srdca (štádium 0, $n = 47$), lézia ľavej komory (LK), charakterizovaná zvýšeným indexom jej hmotnosti (štádium 1, $n = 212$), lézia ľavej predsene (LP) alebo mitrálnnej chlopne, vrátane dilatácie LP, stredne ťažkej alebo ťažkej mitrálnnej regurgitácie a FP (štádium 2, $n = 814$), lézia pľúcnej vaskulatury alebo trikuspidálnej chlopne, charakterizovaná systolickou pľúcnou hypertenziou a stredne ťažkou alebo ťažkou trikuspidálnou regurgitáciou (štádium 3, $n = 413$) a lézia pravej komory, charakterizovaná stredne ťažkou a ťažkou dysfunkciou pravej komory (štádium 4, $n = 145$) (2). Ročná mortalita po náhrade aortálnej chlopne stúpala paralelne s progresiou štádia srdcovej lézie: od 4,4 % v štádiu 0 po 24,5 % v štádiu 4. Každý nárast štádia srdcovej lézie nezávisle asocioval so zvýšenou mortalitou [hazard ratio (HR) 1,46, 95 % konfidenčný interval (CI) 1,27 – 1,67; $P < 0,0001$].

U pacientov so symptomatickou ťažkou aortálnou stenózou s nízkym prietokom a nízkym gradientom môže vzniknúť sagnifikantná lézia srdca, pripomínajúca srdcovú amyloidózu s koncentrickou hypertrofiou LK a reštriktívnou fyziológiou. Z týchto pacientov môže mať 6 až 12 %

transtyreínovú srdcovú amyloidózu (3, 4). U 151 pacientov s ťažkou aortálnou stenózou, podstupujúcich transkatérovú implantáciu aortálnej chlopne, sa vykonala technécium-^{99m}pyrofosfátová (^{99m}Tc-PYP) scintigrafia srdca na posúdenie prítomnosti súčasnej transtyreínovej srdcovej amyloidózy a tkanivová Dopplerovská echokardiografia, ako aj vyšetrenie globálneho longitudinálneho strainu (GLS) LK pri dvojdimenzionálnej speckle tracking echokardiografii na posúdenie systolickej funkcie LK (5). U 16 % pacientov bol pozitívny ^{99m}Tc-PYP sken v zmysle transtyreínovej srdcovej amyloidózy. V porovnaní s pacientmi s izolovanou ťažkou aortálnou stenózou mali pacienti so súčasnou transtyreínovou srdcovou amyloidózou výraznejšiu hypertrofiu LK, nižší vývrhový objem LK, pokročilejšiu diastolickú dysfunkciu LK a viac redukovanú funkciu LK [nižšiu ejekčnú frakciu LK (EF), výraznejšie zhoršený GLS LK a nižšiu vrcholovú systolickú rýchlosť S' pri tkanivovom Dopplerovskom vyšetrení] (**Obrázok “take home”**). Hodnota S' ≤ 6 cm/s pri tkanivovom Dopplerovskom vyšetrení silno asociovala s pozitívnym ^{99m}Tc-PYP skenom. Klinický dopad týchto nálezov bude treba zhodnotiť vo väčších štúdiách, ktoré by potvrdili, že pacienti so súčasnou transtyreínovou srdcovou amyloidózou majú horšiu prognózu po náhrade aortálnej chlopne ako pacienti s izolovanou aortálnou stenózou.

Na význam trojdimenzionálnej transezofágovej echokardiografie pre lepšiu charakteristiku anatómie mitrálnnej chlopne a dynamiku mitrálnnej regurgitácie poukázalo niekoľko publikácií. Napríklad Kagiya et al. (6) demonštrovali prítomnosť insuficientnej remodelácie mitrálnnych cípov, hodno-

tenej trojdimenzionálnou transezofágovou echokardiografiou u 28 pacientov s FP a stredne ťažkou alebo ťažkou mitrálnou regurgitáciou v porovnaní s 56 pacientmi s FP bez mitrálny regurgitácie. Pomer celkovej plochy cípov a plochy mitrálného anulu bol významne nižší u pacientov so stredne ťažkou a ťažkou mitrálnou regurgitáciou ako u pacientov bez nej ($1,29 \pm 0,10$ vs. $1,65 \pm 0,24$, $P < 0,001$), čo poukazuje na nedostatočný nárast (remodeláciu) mitrálnych cípov, potrebný na kompenzáciu dilatácie mitrálného anulu pri FP (s následným vznikom významnej mitrálny regurgitácie). Van Wijngaarden et al. (7) okrem toho dokázali odlišnú dynamiku anulu mitrálny chlopne pri trojdimenzionálnej transezofágovej echokardiografii u pacientov s ťažkou mitrálnou regurgitáciou, spôsobenou fibroelastickým deficitom, Barlowovou chorobou a sekundárnou mitrálnou regurgitáciou. Rozmery mitrálného anulu boli najväčšie u pacientov s Barlowovou chorobou. Nezistili sa žiadne rozdiely medzi pacientmi s fibroelastickým deficitom a pacientmi so sekundárnou mitrálnou regurgitáciou. U pacientov so sekundárnou mitrálnou regurgitáciou ostával mitrálny anulus počas srdcového cyklu plochý a menej dynamický (pomer výšky anulu a komisurálnej šírky bol $18,24 \pm 4,9$ vo včasnej systole, $18,24 \pm 4,7$ v mid-systole a $17,67 \pm 4,4$ v neskej systole, $P = 0,083$). Na rozdiel od toho pacienti s fibroelastickým deficitom a Barlowovou chorobou mali viac zvýraznený sedlovitý tvar mitrálného anulu, ktorý sa stával významne plochším v neskej systole (pomer výšky anulu a komisurálnej šírky sa zmenil u pacientov s fibroelastickým deficitom z $21,99 \pm 4,83$ na $17,39 \pm 4,2$ a u pacientov s Barlowovou chorobou z $23,89 \pm 4,05$ na $15,36 \pm 4,2$; $P < 0,001$ pre obidve komparácie). Tieto nálezy naznačujú, že mechanika mitrálného anulu je dôležitým patofyziologickým determinantom dysfunkcie mitrálny chlopne.

Štandardizácia nových echokardiografických techník je kľúčom pre implementáciu do rutiny klinickej praxe. Pri sledovaní systolickej funkcie LK viacerými vyšetrujúcimi má meranie GLS ľavej komory lepšiu interobservačnú zhodu ako meranie EFLK (8). Na rozdiel od toho pri hodnotení regionálneho longitudinálneho strainu LK sa zistila vyššia variabilita medzi prístrojmi rôznych firiem (9). Rozdiely v kvalite obrazu, "tracking" v algoritmoch a redukcii šumu temporálnym a priestorovým vyhladzovaním medzi rôznymi firmami môže vysvetľovať vysokú variabilitu pri meraní regionálneho strainu. Ak je potrebné echokardiografické sledovanie, je dôležité, aby merania GLS LK a regionálneho strainu boli reprodučibilné. U pacientov, ktorí podstupujú onkologickú liečbu, je včasná detekcia srdcovej dysfunkcie kľúčom na implementáciu kardioprotektívnych stratégií prevencie ireverzibilnej kardiotoxicity. Hodnotenie strainu LK a strain rate sú senzitivnejšími markermi systolickej dysfunkcie LK ako EFLK, ktoré môžu zaistiť včasnejšiu detekciu poškodenia srdca. Narayan et al. hodnotili, ako súvisia uvedené merania s ventrikulo-artériovým couplingom v tejto špecifickej podskupine pacientov (10). Zo 135 pacientok s rakovinou prsníka, ktoré dostávali doxorubi-

cín a trastuzumab, u 15 % vznikla cytostatikami indukovaná kardiotoxicita počas sledovania s mediánom 1,9 roka. Pomer medzi efektívnou artériovou elastanciou a endsystolicou elastanciou (parameter ventrikulo-artériového couplingu) a vstupný cirkumferenčný strain LK mali najväčšiu plochu pod krivkou (AUC), predikujúcu vznik cytostatikami indukovanej kardiotoxicity (0,703, respektíve 0,655).

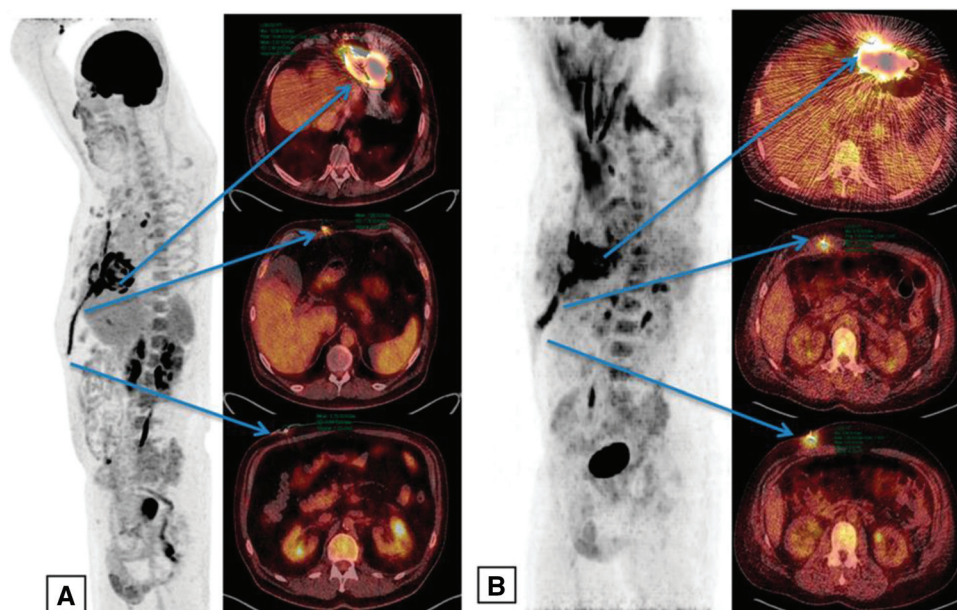
Avšak tieto plochy pod krivkou majú miernu diskriminačnú schopnosť na identifikáciu pacientov, u ktorých vznikne kardiotoxicita. Bolo by ideálne externe validovať tieto zistenia randomizovanými klinickými štúdiami.

Nukleárne zobrazovacie metódy

Nukleárne zobrazovanie poskytuje unikátnu dodatočnú informáciu oproti tej, ktorú poskytujú iné zobrazovacie techniky. Avšak nukleárne zobrazovanie zahŕňa ionizujúce žiarenie. V aktuálnom konsenzuálnom dokumente troch veľkých európskych profesionálnych asociácií v oblasti kardiálneho zobrazovania boli sumarizované najlepšie postupy (technológie, rádioizotopy a zber dát), ako dosiahnuť najnižšiu rádiáciu (11). V oblasti nukleárnej kardiológie viedlo použitie nových kadmium-zinok-teluridových gamakamier (poskytujúcich zvýšenú efektívnosť detekcie signálu) a detektorovej technológie digitálnej pozitronovej emisnej tomografie (PET), založenej na silikónových multinásobičoch, k významnému poklesu radiačnej záťaže pacientov (porovnateľnej s expozíciou prirodzenému žiareniu), bez veľkého vplyvu na kvalitu obrazu a diagnostickú presnosť.

Nukleárne perfúzne zobrazovanie, ako aj koronárna angiografia pri počítačovej tomografii (CTCA) poskytujú dôležitú prognostickú informáciu. Vzájomná súvislosť medzi vlastnosťami aterosklerotických plakov na CTCA a prítomnosťou ischémie myokardu pri ^{99m}Tc -tetrofosmín jednofotónovej emisnej počítačovej tomografii (SPECT) pri záťaži/v pokoji sa hodnotila u 184 pacientov s jednocievnou KACH (12). Celkový objem plaku, rozsah plakov (a špecificky pre nekalcifikované plaky, nekalcifikované plaky s nízkou denzitou a kalcifikované plaky), remodelačný index, rozdiely v denzite kontrastu, dĺžka lézií a priemer stenózy boli významne väčšie na koronárnych artériách, ktoré zasobujú ischemické povodie pri myokardiálnom perfúznom zobrazovaní v porovnaní s tepnami zasobujúcimi neischemické teritória. Pri multivariačnej analýze boli nekalcifikované plaky (pomer šancí 2,6), nekalcifikované plaky s nízkou denzitou (pomer šancí 3,9) a rozdiel v denzite kontrastu (pomer šancí 2,7) významne asociované s ischémiou, avšak stupeň stenózy s ňou neasocioval. Štúdia dokázala, že iné charakteristiky plaku, ako len zúženie koronárneho lúmenu sú silnými determinantmi ischémie myokardu. Tieto výsledky poskytujú zaujímavú podporu konceptu, že ischémia reflektuje nielen zúženie lúmenu, ale má aj vzťah k vulnerabilným plakom.

Sarkoidóza srdca ostáva jednou z veľkých diagnostických výziev v kardiológii. Kardiovaskulárna magnetická rezonan-



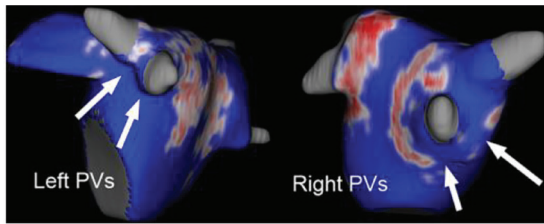
Obrázok 1 Pozitronová emisná tomografia s ^{18}F -fluorodeoxyglukózou – počítačová tomografia na detekciu infekcie podporného systému ľavej komory. Na projekciách s maximálnou intenzitou a fúzaných obrázkoch pozitronovej emisnej tomografie a počítačovej tomografie sa zobrazuje patologické vychytávanie ^{18}F -fluorodeoxyglukózy v mieste vstupu kábla a v jeho intrakorporálnom priebehu (panel A). Na paneli B sa zobrazuje patologická akumulácia ^{18}F -fluorodeoxyglukózy na všetkých úrovniach, vrátane čerpadla systému. Reprodukované so súhlasom Dell'Aquila et al. (16).

cia (CMR) a PET zobrazovanie sa čoraz viac používajú na detekciu postihnutia srdca pri sarkoidóze. Zobrazenie aktívnej sarkoidózy pomocou PET sa zakladá na detekcii zápalu myokardu pomocou ^{18}F -fluorodeoxyglukózy (FDG). Avšak vychytávanie ^{18}F -FDG nie je špecifické pre sarkoidózu. Hoci sa používa špeciálna príprava pacienta na minimalizáciu myokardiálnej využitia glukózy, istý stupeň fyziologického vychytávania ^{18}F -FDG je v srdci bežne prítomný. Schildt et al. (13) prezentovali diagnostickú presnosť heterogenity myokardiálneho vychytávania ^{18}F -FDG u 271 následných pacientov so suspektnou srdcovou sarkoidózou, ktorí boli odoslaní na PET-počítačovú tomografiu (CT). Autori kvantifikovali maximum, minimum, strednú hodnotu a smerodajnú odchýlku vychytávania ^{18}F -FDG v každom zo 17 segmentov LK. Variačný koeficient celej LK sa kalkuloval ako priemer všetkých segmentálnych smerodajných odchýlok delený priemerom všetkých segmentálnych stredných hodnôt. Tento variačný koeficient je vyjadrením metabolickej heterogenity LK. Investigátori navrhli, že cut-off hodnota 0,184 má najlepšiu presnosť na detekciu sarkoidózy srdca (senzitivita 75 %, špecifita 51,4 %).

^{18}F -fluorodeoxyglukózová PET sa stala jedným zo štandardných zobrazovacích vyšetrení u pacientov so suspektnou endokarditídou (14). V minulosti sa už dokázalo, že PET poskytuje dôležitú diagnostickú informáciu u pacientov so

suspektnou protetickou chlopňovou endokarditídou. Na rozdiel od toho senzitivita ^{18}F -FDG PET pri natívnej chlopňovej endokarditíde je nízka, ak nie je prítomné postihnutie anulu alebo extrakardiálny infekčný fokus. Pri protetickej chlopňovej endokarditíde jestvuje relatívne málo informácií o fyziologickom vychytávaní ^{18}F -FDG PET. Mathieu et al. (15) charakterizovali vzory vychytávania ^{18}F -FDG pri neinfikovaných protetických srdcových chlopniach. Autori identifikovali 54 protetických chlopní bez endokarditídy, ktorí absolvovali zobrazovanie pomocou ^{18}F -FDG PET. U väčšiny protetických chlopní bol prítomný istý stupeň periprotetického vychytávania FDG. Vychytávanie značkovacej látky, hodnotené kvantitatívnu analýzou, bolo signifikantné u mnohých pacientov a bolo o málo výraznejšie pri mechanických ako biologických chlopniach (hodnota štandardizovaného vychytávania 4,0 [2,4 – 8,0], respektíve 3,3 [2,1 – 6,1]). Avšak vzor vychytávania bol typicky homogénny. Dôležitým kritériom pre protetickú valvulárnu endokarditídu bola preto nielen intenzita vychytávania ^{18}F -FDG, ale aj jeho heterogenita.

Okrem toho Dell'Aquila et al. (16) dokázali, že kvantitatívna ^{18}F -FDG PET-CT je optimálny diagnostický nástroj na detekciu povrchovej infekcie výstupu kábla, ako aj hlboké infekcie v tuneli kábla podporných systémov LK s kontinuálnym prietokom u pacientov so srdcovým zlyhávaním. Na rozdiel od toho presnosť kvantitatívnej ^{18}F -FDG PET-CT na



Obrázok 2 Nálezy kardiovaskulárnej magnetickej rezonancie ľavej predsene, potencovanej late gadolinium enhancementom, po ablácii pulmonálnej vény pre fibriláciu predsiení. Šípky ukazujú na medzery v obkružení pľúcnej vény. Reprodukované so súhlasom Gala and Marrouchea (23). PV – pľúcna vena

diagnostiku infekcie čerpadla podporného systému je limitovaná a v tejto situácii by sa mal použiť kvalitatívny prístup vrátane klinickej informácie (**obrázok 1**). ^{18}F -FDG PET sa okrem toho čoraz viac používa na diagnostiku infekcie implantovateľných elektronických srdcových prístrojov. Juneau et al. (17) vykonali systematický prehľad a metaanalýzu presnosti PET a SPECT na diagnostiku infekcie implantovateľných elektronických srdcových prístrojov. Inklúzne kritériá splnilo spolu 13 článkov (11 štúdií s ^{18}F -FDG PET-CT a dve štúdie so scintigrafiou so značkovacími leukocyty). Združená („pooled“) senzitivita ^{18}F -FDG PET-CT na diagnostiku infekcie implantovateľných elektronických srdcových prístrojov bola 87 % (95 % CI 82 % – 91 %) a združená špecificita bola 94 % (95 % CI 88 % – 98 %). Analýza receiver operating kriviek (grafov prahových operačných charakteristík) dokázala dobrú celkovú presnosť s AUC 0,935. Pre scintigrafiu so značkovacími leukocyty prezentovali obidve štúdie senzitivitu nad 90 % a špecificitu 100 %. Autori uzavreli, že tak ^{18}F -FDG PET-CT, ako aj scintigrafia so značkovacími leukocyty majú vysokú senzitivitu, špecificitu a presnosť, ale pre druhú metodiku sú dostupné len limitované údaje. Autori odporúčajú ^{18}F -FDG PET ako preferovanú metodiku, ak je dostupná. Scintigrafia so značkovacími leukocyty sa tiež javí užitočným nástrojom na diagnostiku infekcie implantovateľných elektronických srdcových prístrojov.

Kardiovaskulárna magnetická rezonancia (CMR)

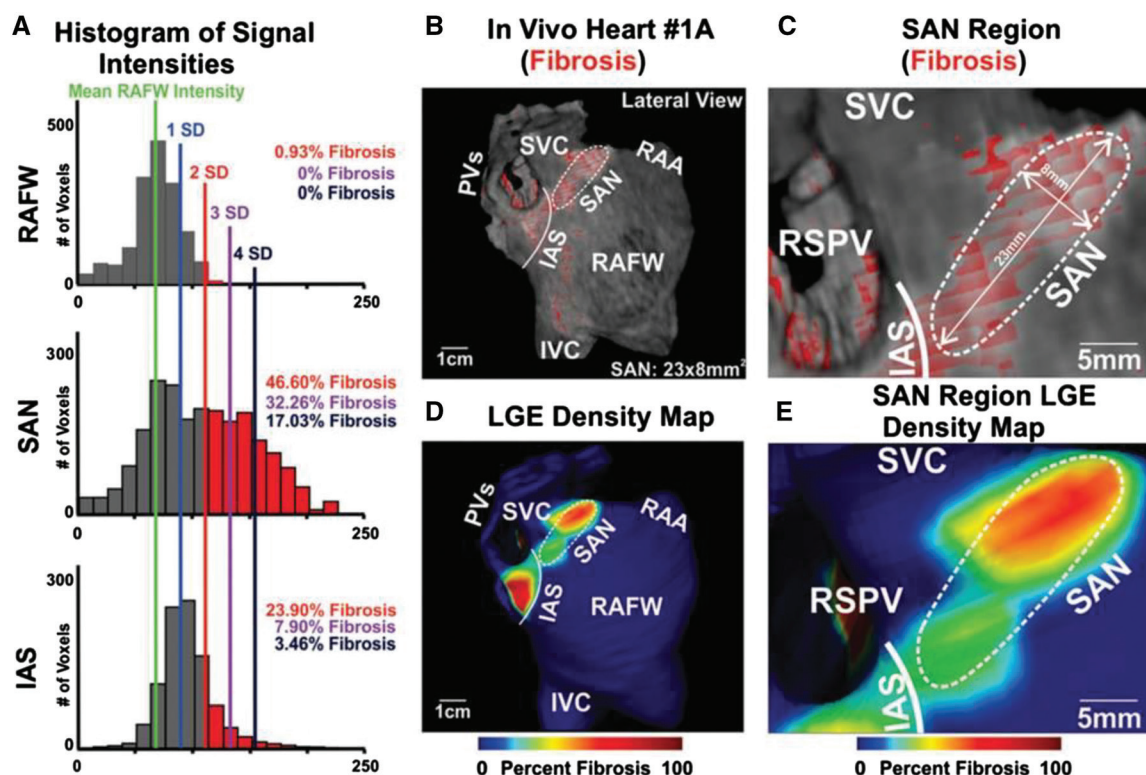
Meranie nálože srdca železom sa stalo spomedzi etablovaných klinických aplikácií CMR integrálnou súčasťou manažmentu pacientov s talasémiou major. Manažment riadený pomocou CMR dramaticky redukoval mortalitu v tejto populácii pacientov. Pepe et al. (18) prezentovali v recentnej kohorte 481 pacientov s talasémiou na aktuálnej liečbe, ktoré nálezy CMR sú nezávisle asociované so vznikom srdcového zlyhávania a arytmií. Celkovo bola frekvencia nežiaducich účinkov počas šesťročného sledovania nízka, pričom len u 16 pacientov vzniklo srdcové zlyhávanie a u 16 pacientov

vznikli arytmie. Myokardiálna fibróza detegovaná late gadolinium enhancementom (LGE) pri CMR bola asociovaná s nežiaducimi účinkami ($\text{HR} = 10,9$, $P < 0,001$), homogénnym preťažením myokardu železom ($\text{HR} = 5,6$, $P = 0,016$) a komorovou dysfunkciou ($\text{HR} = 4,33$, $P = 0,011$). U približne 70 % pacientov sa v dôsledku nálezu CMR zmenil ferchelatačný manažment.

Prognostický význam LGE CMR bol tiež predmetom niekoľkých metaanalýz a monocentrických štúdií pri bežných aj zriedkavejších ochoreniach. Raina et al. (19) sumarizovali prognostickú hodnotu LGE zo 7 štúdií, zahŕňajúcich 425 pacientov so systémovou amyloidózou. Pacienti s dôkazom fibrózy pri LGE CMR mali takmer päťnásobne vyššiu mortalitu počas priemernej doby sledovania 25 mesiacov v porovnaní s pacientmi bez LGE (združený pomer šancí 4,96; 95 % CI 1,90 – 12,93; $P = 0,001$). Coleman et al. (20) sumarizovali výsledky 10 štúdií s celkovým počtom 760 pacientov so sarkoidózou. Detekcia LGE bola asociovaná s trojnásobným nárastom celkovej mortality počas $3,0 \pm 1,1$ roka a 10-násobným nárastom kompozitného ukazovateľa, ktorý zahŕňal aj komorové arytmie, výboje implantovateľného kardiovertera-defibrilátora a náhlu srdcovú smrť. Halliday et al. (21) prezentovali vo veľkej monocentrickej štúdii údaje 399 pacientov s EFLK ≥ 40 %. Pacienti absolvovali CMR, vrátane LGE a boli sledovaní v priemere 4,6 roka. Prítomnosť „mid-wall“ fibrózy na LGE bola asociovaná s 9,2-násobným nárastom rizika kompozitného ukazovateľa náhla smrti a odvrátená náhla smrť, päťnásobným nárastom rizika samotnej náhlej srdcovej smrti a 35-násobným nárastom rizika odvrátenej náhlej srdcovej smrti. Pedrotti et al. (22) hodnotili v menšej monocentrickej štúdii prognostický význam LGE u 48 pacientov s ortotopickou transplantáciou srdca. Najsilnejším prediktorom veľkých nežiaducich kardiovaskulárnych príhod bola kardiálna vaskulopatia allograftu ($\text{HR} = 3,63$, $P = 0,004$), nasledovali masa LGE ($\text{HR} = 1,04$, $P = 0,0007$) a percentáž LGE z masy LK ($\text{HR} = 1,083$, $P = 0,0002$). Tieto metaanalýzy a monocentrické štúdie prispievajú k expandujúcim dôkazom, ktoré podporujú indikáciu LGE CMR ako silného markera nežiaducich klinických príhod pri širokom spektre ochorení.

Gal a Marrouche sa venovali potenciálnym aplikáciám LGE CMR v manažmente FP (23). LGE CMR možno použiť na charakteristiku fibrózy LP, ako prediktora rekurencie FP, čiže na hodnotenie postablačného úspechu (**obrázok 2**).

Csepe et al. (24) okrem toho demonštrovali, že LGE možno dokonca použiť na vizualizáciu zdravého ľudského sinoatriálneho uzla, ktorý pozostáva z 35 – 55 % fibrózneho tkaniva, obklopeného tukovým tkanivom, ktoré poskytuje mechanickú a elektrickú bariéru voči okolitému predsieňovému tkanivu. Pomocou vysokorozlišovacieho 3 T CMR sa vizualizoval sinoatriálny uzol u štyroch zdravých dobrovoľníkov a opticky bol mapovaný pomocou 9,4 T CMR s použitím kontrastu na piatich explantovaných donorských srdciach (**obrázok 3**). Nálezy CMR bezprostredne korelovali s nálezmi z histolo-

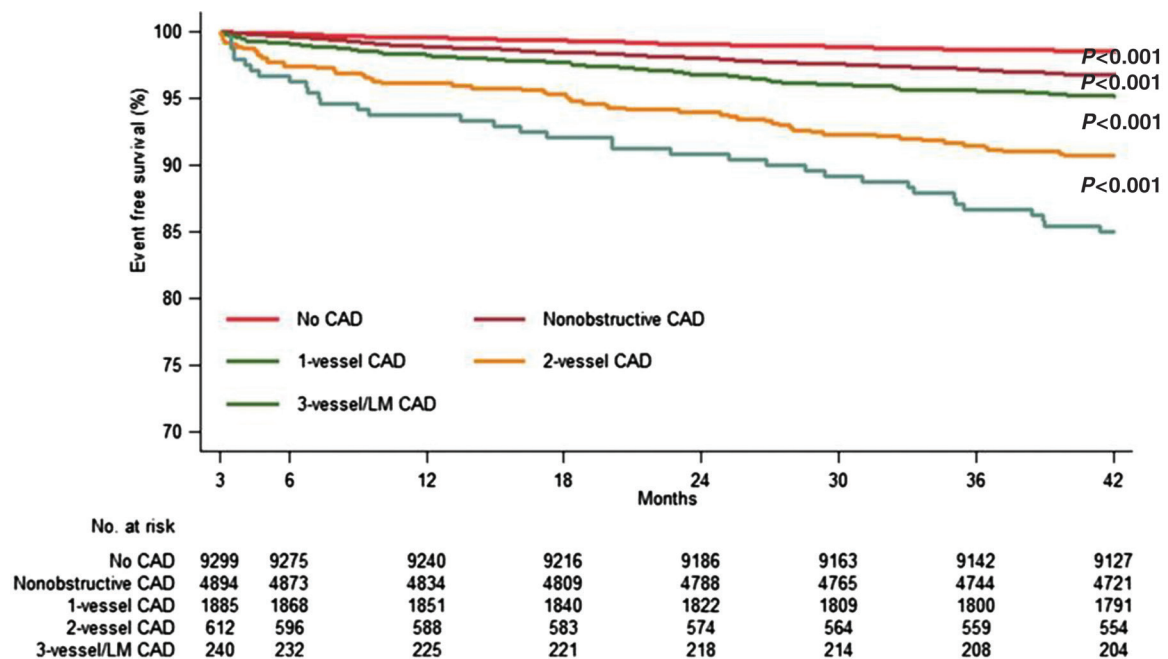


Obrázok 3 Kardiovaskulárna magnetická rezonancia s late gadolinium enhancementom na identifikáciu sinoatriálneho uzla. Panel A zobrazuje histogramy celkovej intenzity signálu voľnej steny pravej predsene, sinoatriálneho uzla a predsieňového septa. Stredná intenzita signálu voľnej steny pravej predsene bola zvolená ako referenčná na stanovenie percentáže fibrózy. Každá smerodajná odchýlka vyššie priemernej intenzity signálu voľnej steny pravej predsene indikovala nárast fibrózy. Na paneli B je laterálny pohľad na trojrozmernú rekonštrukciu pravej predsene. Červeno tieňované oblasti zobrazujú sinoatriálny uzol, demarkovaný bielou čiarkovanou líniou; jeho rozmery sú znázornené v priblíženom pohľade na paneli C. Mapy denzity pravej predsene a priblížený pohľad na sinoatriálny uzol sú zobrazené na paneli D, resp. E. Reprodukované so súhlasom Csepeho et al. (24). IAS – predsieňové septum; IVC – vena cava inferior; PVs – pľúcne vény; RAA – uško pravej predsene; RAFA – voľná stena pravej predsene; RSPV – pravá horná pľúcna vena; SAN – sinoatriálny uzol; SVC – vena cava superior; SD – smerodajná odchýlka

gických rezov. Identifikácia lokalizácie sinoatriálneho uzla v kombinácii s LGE ľavej predsene by mohla zintenzívniť používanie CMR u pacientov s FP a pomôcť pri realizácii cielenejšieho ablačného výkonu.

Kým LGE má jedinečnú schopnosť detegovať fokálnu fibrózu a jazvu, T1 váženie pri CMR umožňuje detekciu a kvantifikáciu difúzných myokardiálnych procesov, ako sú zápal a fibróza. Liu et al. (25) vykonali T1 váženie ako súčasť komplexného CMR protokolu u 61 pacientov so STEMI a dokázali, že rôzne prahové hodnoty T1 môžu odlíšiť reverzibilné a ireverzibilné poškodenie myokardu. Objem poškodeného myokardu, stanovený pomocou natívneho prahu T1, koreloval ako marker remodelácie LK tak s vyplaveným troponínom I, ako aj so šesťmesačnou hodnotou EFLK. V podobne dizajnovanej štúdii Garg et al. (26) kombinovali natívne CMR a CMR po kontrastnom enhance

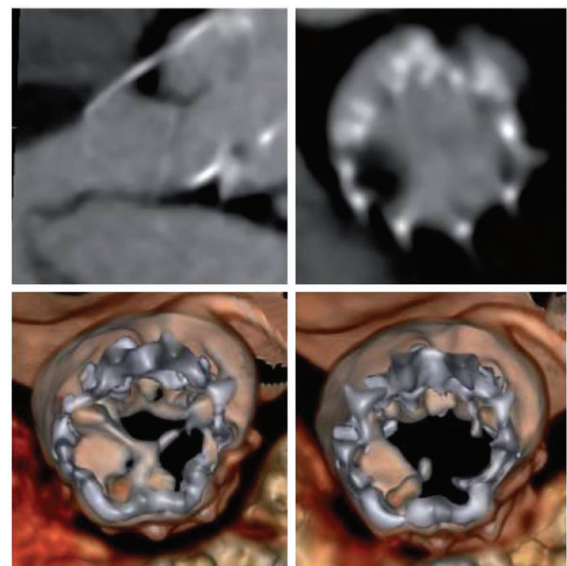
mentom na kvantifikáciu myokardiálnej extracelulárnej objemovej frakcie u 50 pacientov, ktorí podstúpili CMR akútne po infarkte (24 – 72 hodín) a po trojmesačnom sledovaní. Extracelulárna objemová frakcia, meraná akútne po infarkte, korelovala s plochou v ohrození (hodnotenou pomocou CMR sekvencií pri T2 vážení) a finálnym rozsahom infarktu podľa LGE o tri mesiace. Reinstadler et al. (27) vyšetrovali natívne T1 v neinfarktovej vzdialenej zóne u 225 pacientov s infarktom myokardu s eleváciami segmentu ST (STEMI). Zvýšené hodnoty natívneho T1 vo vzdialenej zóne sa pozorovali u pacientov s rozsiahlejšími infarktmi, menším objemom zachráneného myokardu a horšou východiskovou funkciou LK. Pri multivariačnej analýze boli natívne hodnoty T1 vo vzdialenej zóne nezávisle asociované s veľkými nežiaducimi srdcovými príhodami. Pridanie natívnych hodnôt T1 vo vzdialenej zóne k iným známym prognostickým markerom



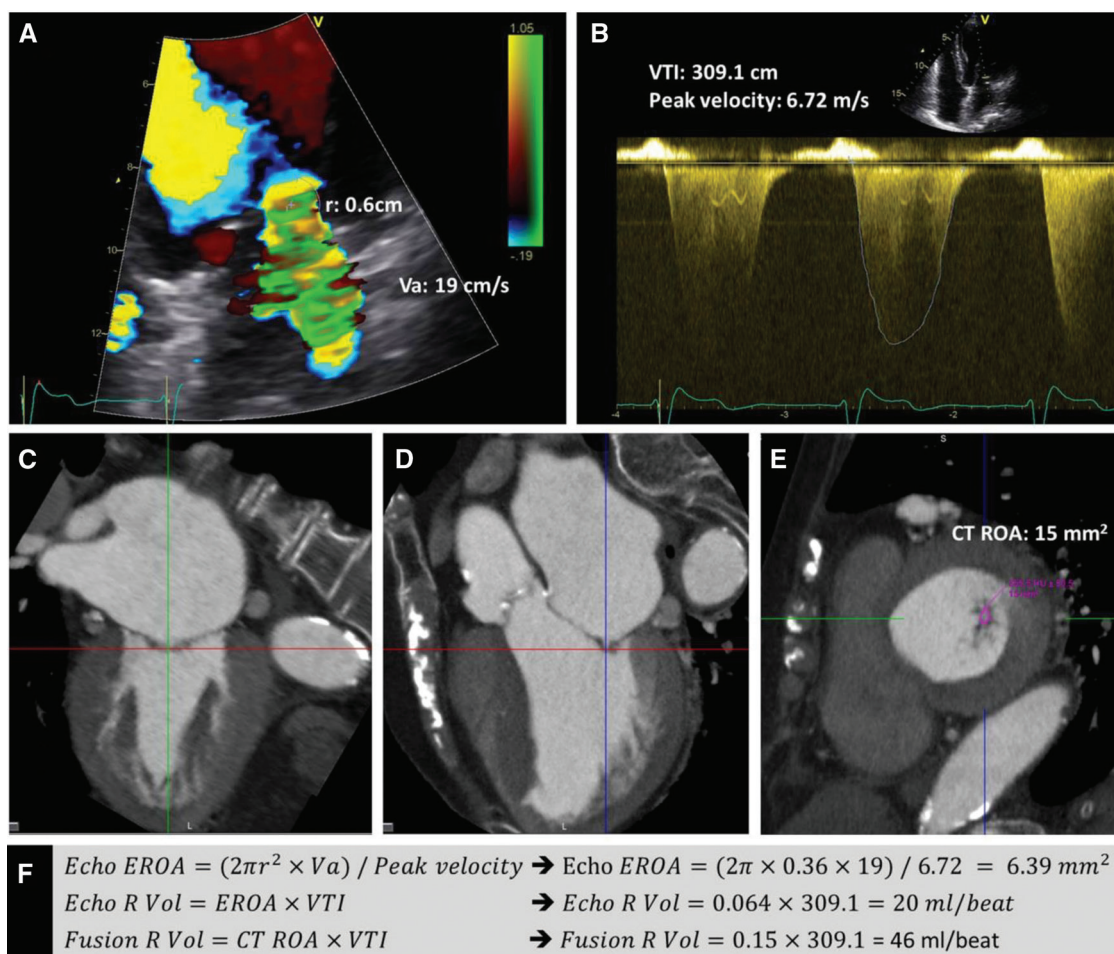
Obrázok 4 Neadjustované prežívanie bez príhod kompozitného ukazovateľa v závislosti od rozsahu koronárnej artériovej choroby. Kompozitný ukazovateľ zahŕňa neskorú koronárnu revaskularizáciu, infarkt myokardu a celkovú mortalitu. Reprodukované so súhlasom Nielsena et al. (30). CAD – koronárna artériová choroba.

CMR (EFLK, rozsah infarktu a index zachráneneho myokardu) viedlo k čistému reklasifikačnému zlepšeniu 0,82 (95 % CI 0,46 – 1,17; $P < 0,001$). Tieto zistenia poukazujú na to, že charakteristiky vzdialenej zóny u pacientov so STEMI môžu mať klinický význam a že natívne T1 váženie by sa mohlo použiť na zlepšenie stratifikácie rizika.

Multiparametrická CMR môže charakterizovať komplexné fyziologické procesy *in vivo*. Levelt et al. (28) hodnotili 31 pacientov s diabetes mellitus 2. typu bez KACH a 17 párovaných kontrol pomocou adenoínovej záťažovej CMR, aby stanovili semikvantitatívny index rezervy myokardiálnej perfúzie, získali zobrazenie závislé od hladiny krvného kyslíka, pomocou ktorého sa určuje oxygenácia myokardu a aby pomocou MR spektroskopie vyhodnotili pomer fosfokreatín/adenoín trifosfát (PCr/ATP) kvôli bilancovaniu myokardiálnej energie. Dáta sa získavali v pokoji a počas záťaže. V pokoji mali diabetickí pacienti o 17 % nižší pomer PCr/ATP v porovnaní s kontrolami, čo poukazuje na narušenú energetickú bilanciu, ktorá sa zhoršila pri záťaži o 12 %. U diabetických pacientov bol navyše počas vazodilatačného stresu index rezervy myokardiálnej perfúzie o 24 % nižší a oxygenačná odpoveď bola otupená v porovnaní s kontrolami. Tieto pozorovania podporujú koncept, že koronárna mikrovaskulárna dysfunkcia pri diabetes mellitus exacerbuje poruchu srdcovej energetiky za podmienok zvýšenej pracovnej záťaže a vyzdvihujú



Obrázok 5 Chlopňa Portico s hrubou vrstvou „hypoattenuovaneho“ zhrubnutia cípu, ktoré spôsobuje ťažkú redukciu pohybu cípu (“hypoattenuation” ovplyvňujúce pohyblivosť). Vľavo hore: multiplanárna rekonštrukcia v diastole v dlhej osi; vpravo hore: axiálna multiplanárna rekonštrukcia v diastole; vľavo dole: diastolická objemová rekonštrukcia; vpravo dole: systolická objemová rekonštrukcia. Reprodukované so súhlasom Sondergaard et al. (37).



Obrázok 6 Integrácia Dopplerovskej echokardiografie a údajov z počítačovej tomografie na kvantifikáciu objemu mitrálnej regurgitácie. Na echokardiografické hodnotenie efektívnej regurgitačnej plochy ústia mitrálnej regurgitácie sa použila PISA metóda (proximal isovelocity surface area). (Panely A, B, a F) Časovo-rýchlostný integrál jetu, zobrazeného na magnetickej rezonancii sa hodnotil pomocou kontinuálnych Dopplerovských záznamov (Panel B). Pomocou vyrovnania (“aligning”) multidetektorových reformačných rovin pri multidetektorovej počítačovej tomografii sa zrekonštruovala dvojité šikmá a transverzálna rovina, paralelná s najužším úsekom ústia mitrálnej regurgitácie. Plocha anatomickeho mitrálneho regitačného ústia sa merala planimetricky na tejto úrovni (Panely C–E). Echokardiografický regurgitačný objem a integrovaný regurgitačný objem pri magnetickej rezonancii sa stanovili vynásobením echokardiografickej plochy efektívneho regurgitačného ústia, respektíve plochy ústia mitrálnej regurgitácie pri multidetektorovej počítačovej tomografii časovo-rýchlostným integrálom (Panel F). Reprodukované so súhlasom van Rosendaela et al. (42). VTI – časovo-rýchlostný integrál; CT – počítačová tomografia; ROA – plocha regurgitačného ústia; RVol – regurgitačný objem; EROA – efektívna plocha regurgitačného ústia

potenciál kvantitatívnej multiparametrickej CMR v štúdiu komplexných patofyziologických procesov.

Počítačová tomografia

Koronárne kalcium poskytuje možnosť detegovať a kvantifikovať subklinickú aterosklerózu a identifikovať osoby so zvýšeným rizikom kardiovaskulárnych príhod v budúcnosti. Budoff et al. (29) analyzovali prognostický význam konárneho kalcia u nízkorizikových pacientov s bolesťou na hrudníku a suspektnou KACH v štúdiu Prospective Multicenter Imaging

Study for Evaluation of Chest Pain (PROMISE). Porovnali spolu 4 602 pacientov, ktorí absolvovali zobrazovacie vyšetrenie koronárneho kalcia a CTCA s kohortou 4 602 osôb, ktorí absolvovali funkčné vyšetrenie ischemie. Obidve kohorty sledovali 26 mesiacov a hodnotil sa výskyt celkovej mortality, infarktu myokardu alebo hospitalizácie pre nestabilnú angínu. Celkovo bola schopnosť predikcie príhod podobná pre vyšetrenie koronárneho kalcia a funkčné testovanie (C-štatistika: 0,67 vs. 0,64) – pričom koronárne kalcium bolo senzitivnejšie a funkčné testovanie bolo špecifickejšie.

Zaujímavé, je že CTCA bola signifikantne viac prediktívna pre vznik príhod aj ako koronárne kalcium, aj ako funkčné testovanie (C-štatistika: 0,72). Tieto výsledky zdôrazňujú význam koronárneho kalcia ako markera aterosklerotickej záťaže a prediktora kardiovaskulárnych príhod, ale kvantifikácia koronárnej stenózy a charakterizácia plaku pomocou CTCA majú lepšiu diskriminačnú silu na identifikáciu rizikových pacientov.

Nielsen et al. hodnotili prognostický význam klinicky indikovanej CTCA vo veľkej kohorte (30). V Dánsku systematicky sledovali počas päťročného obdobia výskyt kompozitného ukazovateľa neskorá myokardiálna revaskularizácia, infarkt myokardu a celková mortalita u 16 949 pacientov starších ako 18 rokov, ktorí absolvovali CTCA pre suspektnú KACH. Revaskularizácie, ktoré sa vykonali do 90 dní od CTCA, sa nebrali do úvahy, aby sa vylúčili tie, ktoré boli bezprostredne indikované podľa CT nálezov. Kompozitný ukazovateľ sa vyskytol u 486 pacientov počas sledovania s mediánom 3,6 roka. Riziko kompozitného ukazovateľa bolo 1,5 % u pacientov bez identifikácie akejkoľvek koronárnej aterosklerózy na CTCA, 3,3 % pri neobštrukčných plakoch a 6,8 % u osôb s obštrukčnými léziami na CTCA ($P < 0,001$ pre všetky porovnania) (**obrázok 4**). Ak bolo prítomné trojcievne postihnutie alebo stenóza hlavného kmeňa ľavej koronárnej artérie, riziko bolo 15 %. Zaujímavé je, že prediktívna hodnota CTCA bola zachovaná vo všetkých vekových skupinách, tak u mužov ako aj u žien.

Silnú prognostickú hodnotu CTCA potvrdili aj Deseive et al. (31). Z 15 219 pacientov, zaradených do medzinárodného multicentrického registra CONFIRM, 982 (6,5 %) zomrelo počas sledovania s mediánom 5,3 roka. Tzv. CONFIRM score (32), ktoré kombinovalo Cholesterol Education Program Adult Treatment Panel (NCEP ATP) III skóre, výskyt proximálnych segmentov koronárnych artérií s plakom a výskyt proximálnych koronárnych segmentov so stenózou > 50 %, malo superiornu prognostickú hodnotu v porovnaní s klinickými rizikovými skóre, vrátane NCEP ATP III, Framinghamského skóre a Moriseovho score (C-štatistiky: 0,696, 0,675, 0,610 a 0,606). Použitie CONFIRM skóre viedlo k reklasifikácii 34 % pacientov v porovnaní so samotným NCEP ATP III skóre.

Zaujímavý nový prístup k stratifikácii rizika, založenej na CTCA, popísali Motwani et al. (33). Strojové učenie sa použilo na vytvorenie modelu z klinických dát a CTCA od 10 030 pacientov, zaradených do registra CONFIRM. Išlo o 25 klinických premenných (ako vek, pohlavie, Framinghamské rizikové skóre) a 44 premenných, odvodených z CTCA (ako skóre segmentálnej stenózy, skóre postihnutých segmentov, modifikovaný Duke index, počet segmentov s nekalcifikovanými, zmiešanými alebo kalcifikovanými plakmi). Strojové učenie zahrnuje automatickú selekciu kritérií, tvorbu modelu a 10-násobne stratifikovanú krížovú validáciu. Počas priemerného času sledovania 5,4 roka zomrelo 745 pacientov. Strojové učenie poskytlo vyššiu AUC na predikciu celkovej

mortality v porovnaní s Framinghamským rizikovým skóre alebo s akýmkoľvek samotným skóre závažnosti, odvodeným z CTCA (napríklad skóre postihnutých segmentov) (strojové učenie: 0,79; Framinghamské rizikové skóre: 0,61; skóre postihnutých segmentov: 0,64; $P < 0,001$). Tieto výsledky naznačujú, že strojové učenie má dôležitú úlohu pri správnej identifikácii vysoko rizikových pacientov so suspektnou KACH, ktorí môžu mať benefit z intenzifikovanej preventívnej liečby.

Existuje niekoľko prístupov, ako pridať funkčnú informáciu (identifikácia ischémie) k CTCA, ktorá je anatomickou zobrazovacou technikou. Jedným z prístupov je frakčná prietoková rezerva (FFR)-CT, t. j. simulácia FFR založená na súbore anatomických dát, odvodených z CT. Iným prístupom je myokardiálne perfúzne CT počas adenosínovej záťaže, čo si vyžaduje separátnu akvizíciu CT. Obe prístupy sa v súčasnosti validujú. Jensen et al. (34) hodnotili, či by CTCA, kombinovaná s FFR-CT (ak sa to považovalo za potrebné), dovolila bezpečne odložiť invazívnu koronárnu angiografiu. Počas šesťmesačného obdobia sa vyhodnotilo 774 pacientov, odoslaných do jedného centra na invazívnu angiografiu alebo CTCA. Analyzovali sa finálne testovanie, liečba počas troch mesiacov a nežiaduce účinky. Pacienti boli rozdelení do dvoch skupín podľa prítomnosti typickej angíny: skupina s nízkym intermediárnym rizikom ($n = 593$) a skupina s vysokým rizikom ($n = 181$), so strednými pretestovými pravdepodobnosťami KACH 31 ± 16 %, respektíve 67 ± 16 %. FFR-CT sa doplnila k CTCA u 212 pacientov (28 %). U pacientov s vysokým rizikom, respektíve s nízkym-intermediárnym rizikom bolo možné vyhnúť sa koronárnej angiografii u 75 %, respektíve 91 % pacientov. Počas priemerného času sledovania 157 ± 50 dní sa vyskytli závažné klinické príhody u štyroch pacientov. Žiadne príhody sa nevyskytli u pacientov, u ktorých bola invazívna angiografia zrušená v dôsledku nesuspektných nálezov na CTCA (spolu so selektívnym FFR-CT testovaním). Poukazuje to na skutočnosť, že CTCA (v kombinácii s FFR-CT, ak sa považuje za potrebnú) umožňuje bezpečne odložiť invazívnu angiografiu. V štúdií FFR-CT Does Routine Pressure Wire Assessment Influence Management Strategy at Coronary Angiography for Diagnosis of Chest Pain? (RIPCARD) (35), sa multicentricky analyzovala kohorta 200 pacientov. FFR-CT viedla k zmene finálneho plánu manažmentu po CTCA u 36 % pacientov.

V klinickom výskume je aj druhý prístup, myokardiálne perfúzne CT zobrazovanie. Penagaluri et al. (36) skúmali diagnostickú hodnotu myokardiálneho perfúzneho CT zobrazovania, doplneného k CTCA, u 381 pacientov. "Patient-based" diagnostická presnosť – definovaná plochou pod receiver operating curve (graf prahovej operačnej charakteristiky) – bola u žien pre samotnú CTCA 0,83 a pre CTCA-CT perfúziu 0,92 ($P = 0,003$). Avšak u mužov sa nezistil žiadny významný rozdiel (0,82 vs. 0,84, $P = 0,29$). Budú potrebné ďalšie štúdie na posúdenie optimálneho klinického použitia myokardiálneho perfúzneho CT zobrazovania.

Kardiálne CT zobrazovanie nie je obmedzené len na hodnotenie KACH. CT zohráva čoraz dôležitejšiu úlohu v kontexte štrukturálnych srdcových intervencií, vrátane transkatétrovej implantácie aortálnej chlopne. Aktuálny vývoj viedol k pozorovaniu, že tak na transkatétrovej, ako aj na chirurgicky implantovanej aortálnej bioprotéze sa môže rozvinúť tzv. “hypo-attenuated leaflet thickening” (‘HALT’) (obrázok 5) (37 – 40). Klinický význam tohto pozorovania je však nejasný: kým v niektorých štúdiách prítomnosť HALT-u nebola spojená so zvýšeným rizikom cievnej mozgovej príhody (37, 38), Chakravarty et al. (40) postulovali o málo vyššiu frekvenciu ischemických mozgových príhod, ak je prítomný HALT. Štúdia Sondergaard et al. (37) zaujímavo zdôraznila časový vývoj HALT-u a dokázala, že HALT môže progredovať do “hypo-attenuation affecting motion (HAM)” alebo môže regresovať alebo vymiznúť. U 84 pacientov zaradených do registra Subclinical Aortic Valve Bioprosthesis Thrombosis Assessed With 4D CT (SAVORY) sa vykonali dva sekvenčné CT skeny 140 a 298 dní po implantácii chlopne. “Hypo-attenuated” zhrubnutie cípov a HAM boli prítomné u 38,1 %, respektíve 20,2 % pacientov na prvom skene a boli vysoko dynamické, s progresiou u 15,5 % pacientov a regresiou u 10,7 % pacientov. Je dôležité, že progresia bola menej pravdepodobná u pacientov liečených orálnymi antikoagulantami (OR 0,014, $P=0.036$), ale k regresii mohlo dôjsť nezávisle od použitia antikoagulantov. Výsledky týchto štúdií spochybnili súčasné odporúčania o antikoagulačnej terapii pri aortálnych bioprotézach. Dodatočné štúdie so sekvenčným zobrazovaním sú potrebné na objasnenie časového priebehu HALT-u a HAM-u a na stanovenie personalizovanej antikoagulačnej liečby (41).

Hybridné zobrazovanie alebo “fusion” zobrazovanie

Literatúra dokumentuje nárast používania hybridného zobrazovania vo výskume, ale aj v klinickej kardiológii. Rôzne zobrazovacie zložky možno kategorizovať ako anatomické, funkčné a biologické zobrazovanie. CTCA je dobrým príkladom anatomického zobrazovania: vizualizuje koronárne artérie a potenciálne stenózy; echokardiografia a CMR poskytujú tak funkčné, ako aj anatomické zobrazovanie. Nukleárne metódy umožňujú funkčné zobrazovanie (hodnotenie ischemie), ale v súčasnosti sú jedinou technikou, ktorá poskytuje biologické zobrazenie: napríklad hodnotenie zápalu pomocou ^{18}F -FDG. *Fusion imaging* predstavuje fúziu alebo integráciu rôznych obrazov, ktoré sa získali izolovane a neskôr boli fúzané alebo integrované kvôli hodnoteniu kardiovaskulárnej patofyziológie. Napríklad van Rosendaal et al. (42) popísali integrované použitie CT a echokardiografie na zlepšené hodnotenie závažnosti mitrálnej regurgitácie u 73 pacientov. Ak sa zhodnotilo efektívne regurgitačné ústie priamou planimetriou podľa CT a táto plocha sa potom integrovala s echokardiograficky stanovenou rýchlosťou regurgitačného toku (obrázok 6), závažnosť mitrálnej regurgitácie sa redukovala zo závažnej

na nezávažnú u 10 % pacientov a zvýšila z nezávažnej na závažnú u 14 % pacientov. Fúzia dvoch techník tak zmenila hodnotenie závažnosti u 24 % pacientov. Prognostickú hodnotu tohto fúzaného zobrazovania treba dokázať.

Väčšina literárnych citácií o hybridnom zobrazovaní sa týka PET a CT, ale aj PET a CMR. Tieto nové prístroje umožňujú priamu fúziu oboch obrazov, ktoré sa získavajú simultánne alebo sekvenčne (počas jedného sedenia). V roku 2017 bolo prezentovaných niekoľko príkladov. Singh et al. (43) referovali o integrovanom zobrazovaní morfológie koronárneho plaku a zápalu pomocou PET-CT s ^{18}F -FDG: 55 pacientov absolvovalo zobrazenie pred a o 12 týždňov po podaní statínu (atorvastatín). Vychytávanie ^{18}F -FDG (pomer cieľová štruktúra/pozadie) sa hodnotilo v kmeni ľavej koronárnej artérie. V nekalcifikovaných alebo čiastočne kalcifikovaných léziách podľa CTCA (považovaných za vysoko rizikové) bolo vychytávanie signifikantne vyššie ako v kalcifikovaných léziách (pomery cieľová štruktúra/pozadie $1,95 \pm 0,43$ vs. $1,67 \pm 0,32$, $P=0,04$). Po 12 týždňoch užívania statínu bola signifikantná redukcia vychytávania ^{18}F -FDG vo vysoko rizikových léziách.

Pacienti s možnou sarkoidózou ($n = 25$) sa hodnotili pomocou PET-CMR (44). Aktívna sarkoidóza bola definovaná zvýšeným vychytávaním ^{18}F -FDG v oblastiach s neskorým contrast-enhancementom pri CMR (prítomný u 8 pacientov); žiadni iní pacienti nemali aktívnu sarkoidózu. Tento prístup by mohol napomôcť identifikácii pacientov s aktívnou sarkoidózou a selektívnej liečbe.

PET-CT umožnila adekvátnu detekciu endokarditídy u pacientov, ktorí absolvovali transkatétrovú náhradu aortálnej chlopne (45). CT dokumentovala zhrubnutie cípov (ako marker trombózy), kým ^{18}F -FDG PET dokázala aktívny zápal. Tento zobrazovací postup bol superiorný oproti rutinnému hodnoteniu endokarditídy (podľa modifikovaných Duke kritérií).

Do štúdie Evaluation of Integrated Cardiac Imaging for the Detection and Characterization of Ischaemic Heart Disease (EVINCI) zaradilo 14 centier z 9 európskych krajín 252 pacientov so stabilnou angínou a intermediárnou pretestovou pravdepodobnosťou KACH (46). Pacienti absolvovali SPECT alebo PET perfúzne vyšetrenie a CTCA a tieto obrázky sa spojili na dedikovanom zariadení. Tieto neinvazívne zobrazovacie údaje sa porovnávali s kvantitatívnou invazívnou koronárnou angiografiou, vrátane hodnotenia FFR (na detekciu hemodynamicky významných stenóz). Hybridné zobrazenie vylúčilo funkčne významnú KACH u 41 % pacientov, čo poskytlo negatívnu prediktívnu hodnotu 88 % a potvrdilo významné ochorenie u 24 % pacientov, čo poskytlo pozitívnu prediktívnu hodnotu 87 %. Aby sa stanovilo postavenie hybridného zobrazovania na detekciu signifikantnej KACH, budú potrebné ďalšie štúdie, zamerané na vplyv tejto zobrazovacej modality na redukciu pacientov, u ktorých nie sú invazívna koronárna angiografia a intervencie potrebné.

Konflikt záujmov: žiadny deklarováný konflikt

Literatúra

1. d'Arcy JL, Coffey S, Loudon MA, Kennedy A, Pearson-Stuttard J, Birks J, Frangou E, Farmer AJ, Mant D, Wilson J, Myerson SG, Prendergast BD. Large-scale community echocardiographic screening reveals a major burden of undiagnosed valvular heart disease in older people: the OxVALVE Population Cohort Study. *Eur Heart J* 2016;37:3515–3522.
2. Genereux P, Pibarot P, Redfors B, Mack MJ, Makkar RR, Jaber WA, Svensson LG, Kapadia S, Tuzcu EM, Thourani VH, Babaliaros V, Herrmann HC, Szeto WY, Cohen DJ, Lindman BR, McAndrew T, Alu MC, Douglas PS, Hahn RT, Kodali SK, Smith CR, Miller DC, Webb JG, Leon MB. Staging classification of aortic stenosis based on the extent of cardiac damage. *Eur Heart J* 2017;38:3351–3358.
3. Castano A, Narotsky DL, Hamid N, Khalique OK, Morgenstern R, DeLuca A, Rubin J, Chiuhan C, Nazif T, Vahl T, George I, Kodali S, Leon MB, Hahn R, Bokhari S, Maurer MS. Unveiling transthyretin cardiac amyloidosis and its predictors among elderly patients with severe aortic stenosis undergoing transcatheter aortic valve replacement. *Eur Heart J* 2017;38:2879–2887.
4. Treibel TA, Fontana M, Gilbertson JA, Castelletti S, White SK, Scully PR, Roberts N, Hutt DF, Rowczenio DM, Whelan CJ, Ashworth MA, Gillmore JD, Hawkins PN, Moon JC. Occult transthyretin cardiac amyloid in severe calcific aortic stenosis: prevalence and prognosis in patients undergoing surgical aortic valve replacement. *Circ Cardiovasc Imaging* 2016;9:e005066.
5. Longhi S, Lorenzini M, Gagliardi C, Milandri A, Marzocchi A, Marrozzini C, Saia F, Ortolani P, Biagini E, Guidalotti PL, Leone O, Rapezzi C. Coexistence of degenerative aortic stenosis and wild-type transthyretin-related cardiac amyloidosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;9:325–327.
6. Kagiya N, Hayashida A, Toki M, Fukuda S, Ohara M, Hirohata A, Yamamoto K, Isobe M, Yoshida K. Insufficient leaflet remodeling in patients with atrial fibrillation: association with the severity of mitral regurgitation. *Circ Cardiovasc Imaging* 2017;10:e005451.
7. van Wijngaarden SE, Kamperidis V, Regeer MV, Palmen M, Schalij MJ, Klautz RJ, Bax JJ, Ajmone MN, Delgado V. Three-dimensional assessment of mitral valve annulus dynamics and impact on quantification of mitral regurgitation. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1093/ehjci/jex001.
8. Negishi T, Negishi K, Thavendiranathan P, Cho GY, Popescu BA, Vinereanu D, Kurosawa K, Penicka M, Marwick TH. Effect of experience and training on the concordance and precision of strain measurements. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017;10:518–522.
9. Mirea O, Pagourelas ED, Duchenne J, Bogaert J, Thomas JD, Badano LP, Voigt JU. Variability and reproducibility of segmental longitudinal strain measurement: a report from the EACVI-ASE strain standardization task force. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1016/j.jcmg.2017.01.027.
10. Narayan HK, French B, Khan AM, Plappert T, Hyman D, Bajulaye A, Domchek S, DeMichele A, Clark A, Matro J, Bradbury A, Fox K, Carver JR, Ky B. Noninvasive measures of ventricular-arterial coupling and circumferential strain predict cancer therapeutics-related cardiac dysfunction. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;9:1131–1141.
11. Gimelli A, Achenbach S, Buechel RR, Edvardsen T, Francone M, Gaemperli O, Hacker M, Hyafil F, Kaufmann PA, Lancellotti P, Nieman K, Pontone G, Pugliese F, Verberne HJ, Gutberlet M, Bax JJ, Neglia D. Strategies for radiation dose reduction in nuclear cardiology and cardiac computed tomography imaging: a report from the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI), the Cardiovascular Committee of European Association of Nuclear Medicine (EANM), and the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). *Eur Heart J* 2018;39:286–294.
12. Diaz-Zamudio M, Fuchs TA, Slomka P, Otaki Y, Arsanjani R, Gransar H, Germano G, Berman DS, Kaufmann PA, Dey D. Quantitative plaque features from coronary computed tomography angiography to identify regional ischemia by myocardial perfusion imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:499–507.
13. Schildt JV, Loimaala AJ, Hippelainen ET, Ahonen AA. Heterogeneity of myocardial 2-[18F]fluoro-2-deoxy-D-glucose uptake is a typical feature in cardiac sarcoidosis: a study of 231 patients. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1093/ehjci/jex175.
14. Habib G, Lancellotti P, Antunes MJ, Bongiorni MG, Casalta JP, Del ZF, Dulgheru R, El KG, Erba PA, Iung B, Miro JM, Mulder BJ, Plonska-Gosciniak E, Price S, Roos-Hesselink J, Snygg-Martin U, Thuny F, Tornos MP, Vilacosta I, Zamorano JL, Erol C, Nihoyannopoulos P, Aboyans V, Agewall S, Athanassopoulos G, Aytakin S, Benzer W, Bueno H, Broekhuizen L, Carerj S, Cosyns B, De BJ, De BM, Dimopoulos K, Donal E, Drexel H, Flachskampf FA, Hall R, Halvorsen S, Hoen B, Kirchhof P, Lainscak M, Leite MAF, Lip GY, Mestres CA, Piepoli MF, Punjabi PP, Rapezzi C, Rosenhek R, Siebens K, Tamargo J, Walker DM. 2015 ESC guidelines for the management of infective endocarditis: the task force for the management of infective endocarditis of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS), the European Association of Nuclear Medicine (EANM). *Eur Heart J* 2015;36:3075–3128.
15. Mathieu C, Mikail N, Benali K, Iung B, Duval X, Nataf P, Jondeau G, Hyafil F, Le GD, Rouzet F. Characterization of 18F-fluorodeoxyglucose uptake pattern in noninfected prosthetic heart valves. *Circ Cardiovasc Imaging* 2017;10:e005585.
16. Dell'Aquila AM, Avramovic N, Mastrobuoni S, Motekallemini A, Wisniewski K, Scherer M, Sindermann JR, Wenning C. Fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography for improving diagnosis of infection in patients on CF-LVAD: longing for more 'insights'. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1093/ehjci/jex158.
17. Juneau D, Golfam M, Hazra S, Zuckier LS, Garas S, Redpath C, Bernick J, Leung E, Chih S, Wells G, Beanlands RS, Chow BJ. Positron emission tomography and single-photon emission computed tomography imaging in the diagnosis of cardiac implantable electronic device infection: a systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Imaging* 2017;10:e005772.

18. Pepe A, Meloni A, Rossi G, Midiri M, Missere M, Valeri G, Sorrentino F, D'Ascola DG, Spasiano A, Filosa A, Cuccia L, Dello IN, Forni G, Caruso V, Maggio A, Pitrolo L, Peluso A, De MD, Positano V, Wood JC. Prediction of cardiac complications for thalassemia major in the widespread cardiac magnetic resonance era: a prospective multicentre study by a multi-parametric approach. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1093/ehjci/jex012.
19. Raina S, Lensing SY, Nairouz RS, Pothineni NV, Hakeem A, Bhatti S, Pandey T. Prognostic value of late gadolinium enhancement CMR in systemic amyloidosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;9:1267–1277.
20. Coleman GC, Shaw PW, Balfour PC Jr, Gonzalez JA, Kramer CM, Patel AR, Salerno M. Prognostic value of myocardial scarring on CMR in patients with cardiac sarcoidosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017;10:411–420.
21. Halliday BP, Gulati A, Ali A, Guha K, Newsome S, Arzanauskaitė M, Vassiliou VS, Lota A, Izgi C, Tayal U, Khalique Z, Stirrat C, Auger D, Pareek N, Ismail TF, Rosen SD, Vazir A, Alpendurada F, Gregson J, Frenneaux MP, Cowie MR, Cleland JGF, Cook SA, Pennell DJ, Prasad SK. Association between midwall late gadolinium enhancement and sudden cardiac death in patients with dilated cardiomyopathy and mild and moderate left ventricular systolic dysfunction. *Circulation* 2017;135:2106–2115.
22. Pedrotti P, Vittori C, Facchetti R, Pedretti S, Dellegrottaglie S, Milazzo A, Frigerio M, Cipriani M, Giannattasio C, Roghi A, Rimoldi O. Prognostic impact of late gadolinium enhancement in the risk stratification of heart transplant patients. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:130–137.
23. Gal P, Marrouche NF. Magnetic resonance imaging of atrial fibrosis: redefining atrial fibrillation to a syndrome. *Eur Heart J* 2017;38:14–19.
24. Csepe TA, Zhao J, Sul LV, Wang Y, Hansen BJ, Li N, Ignozzi AJ, Bratasz A, Powell KA, Kilic A, Mohler PJ, Janssen PML, Hummel JD, Simonetti OP, Fedorov VV. Novel application of 3D contrast-enhanced CMR to define fibrotic structure of the human sinoatrial node in vivo. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:862–869.
25. Liu D, Borlotti A, Viliani D, Jerosch-Herold M, Alkhalil M, De Maria GL, Fahrni G, Dawkins S, Wijesurendra R, Francis J, Ferreira V, Piechnik S, Robson MD, Banning A, Choudhury R, Neubauer S, Channon K, Kharbada R, Dall'armellina E. CMR native T1 mapping allows differentiation of reversible versus irreversible myocardial damage in ST-segment-elevation myocardial infarction: an OxAMI study (Oxford acute myocardial infarction). *Circ Cardiovasc Imaging* 2017;10:e005986.
26. Garg P, Broadbent DA, Swoboda PP, Foley JR, Fent GJ, Musa TA, Ripley DP, Erhayiem B, Dobson LE, McDiarmid AK, Haaf P, Kidambi A, van der Geest RJ, Greenwood JP, Plein S. Acute infarct extracellular volume mapping to quantify myocardial area at risk and chronic infarct size on cardiovascular magnetic resonance Imaging. *Circ Cardiovasc Imaging* 2017;10:e006182.
27. Reinstadler SJ, Stiermaier T, Liebetrau J, Fuernau G, Eitel C, de WS, Desch S, Reil JC, Poss J, Metzler B, Lucke C, Gutberlet M, Schuler G, Thiele H, Eitel I. Prognostic significance of remote myocardium alterations assessed by quantitative noncontrast T1 mapping in ST-segment elevation myocardial infarction. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1016/j.jcmg.2017.03.015.
28. Levelt E, Rodgers CT, Clarke WT, Mahmood M, Ariga R, Francis JM, Liu A, Wijesurendra RS, Dass S, Sabharwal N, Robson MD, Holloway CJ, Rider OJ, Clarke K, Karamitsos TD, Neubauer S. Cardiac energetics, oxygenation, and perfusion during increased workload in patients with type 2 diabetes mellitus. *Eur Heart J* 2016;37:3461–3469.
29. Budoff MJ, Mayrhofer T, Ferencik M, Bittner DO, Lee KL, Lu MT, Coles A, Jang JJ, Krishnam MS, Douglas PS, Hoffmann U. The prognostic value of coronary artery calcium in the PROMISE study. *Circulation* 2017;36:1993–2005.
30. Nielsen LH, Botker HE, Sorensen HT, Schmidt M, Pedersen L, Sand NP, Jensen JM, Steffensen FH, Tilsted HH, Bottcher M, Diederichsen A, Lambrechtsen J, Kristensen LD, Ovrehus KA, Mickley H, Munkholm H, Gotzsche O, Husain M, Knudsen LL, Norgaard BL. Prognostic assessment of stable coronary artery disease as determined by coronary computed tomography angiography: a Danish multicentre cohort study. *Eur Heart J* 2017;38:413–421.
31. Deseive S, Shaw LJ, Min JK, Achenbach S, Andreini D, Al-Mallah MH, Berman DS, Budoff MJ, Callister TQ, Cademartiri F, Chang HJ, Chinnaiyan K, Chow BJ, Cury RC, DeLago A, Dunning AM, Feuchtner G, Kaufmann PA, Kim YJ, Leipsic J, Marques H, Maffei E, Pontone G, Raff G, Rubinshtein R, Villines TC, Hausleiter J, Hadamitzky M. Improved 5-year prediction of all-cause mortality by coronary CT angiography applying the CONFIRM score. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:286–293.
32. Hadamitzky M, Achenbach S, Al-Mallah M, Berman D, Budoff M, Cademartiri F, Callister T, Chang HJ, Cheng V, Chinnaiyan K, Chow BJ, Cury R, DeLago A, Dunning A, Feuchtner G, Gomez M, Kaufmann P, Kim YJ, Leipsic J, Lin FY, Maffei E, Min JK, Raff G, Shaw LJ, Villines TC, Hausleiter J. Optimized prognostic score for coronary computed tomographic angiography: results from the CONFIRM registry (COronary CT Angiography EvaluationN For Clinical Outcomes: an International Multi-center Registry). *J Am Coll Cardiol* 2013;62:468–476.
33. Motwani M, Dey D, Berman DS, Germano G, Achenbach S, Al-Mallah MH, Andreini D, Budoff MJ, Cademartiri F, Callister TQ, Chang HJ, Chinnaiyan K, Chow BJ, Cury RC, DeLago A, Gomez M, Gransar H, Hadamitzky M, Hausleiter J, Hindoyan N, Feuchtner G, Kaufmann PA, Kim YJ, Leipsic J, Lin FY, Maffei E, Marques H, Pontone G, Raff G, Rubinshtein R, Shaw LJ, Stehli J, Villines TC, Dunning A, Min JK, Slomka PJ. Machine learning for prediction of all-cause mortality in patients with suspected coronary artery disease: a 5-year multicentre prospective registry analysis. *Eur Heart J* 2017;38:500–507.
34. Jensen JM, Botker HE, Mathiassen ON, Grove EL, Ovrehus KA, Pedersen KB, Terkelsen CJ, Christiansen EH, Maeng M, Leipsic J, Kaltoft A, Jakobsen L, Sorensen JT, Thim T, Kristensen S, Krusell LR, Norgaard BL. Computed tomography derived fractional flow reserve testing in stable patients with typical angina pectoris: influence on downstream rate of invasive coronary angiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1093/ehjci/jex068.
35. Curzen NP, Nolan J, Zaman AG, Norgaard BL, Rajani R. Does the routine availability of CT-derived FFR influence management

- of patients with stable chest pain compared to CT angiography alone? The FFRCT RIPCORD study. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;9:1188–1194.
36. Penagaluri A, Higgins AY, Vavere AL, Miller JM, Arbab-Zadeh A, Betoko A, Steveson C, Zimmermann E, Cox C, Rochitte CE, Dewey M, Kofoed KF, Niinuma H, Di Carli MF, Lima JA, Chen MY. Computed tomographic perfusion improves diagnostic power of coronary computed tomographic angiography in women: analysis of the CORE320 trial (coronary artery evaluation using 320-row multidetector computed tomography angiography and myocardial perfusion) according to gender. *Circ Cardiovasc Imaging* 2016;9:e005189.
37. Sondergaard L, De BO, Kofoed KF, Jilaihawi H, Fuchs A, Chakravarty T, Kashif M, Kazuno Y, Kawamori H, Maeno Y, Bieliauskas G, Guo H, Stone GW, Makkar R. Natural history of subclinical leaflet thrombosis affecting motion in bioprosthetic aortic valves. *Eur Heart J* 2017;38:2201–2207.
38. Vollema EM, Kong WKF, Katsanos S, Kamperidis V, van Rosendaal PJ, van der Kley F, de WA, Ajmone MN, Delgado V, Bax JJ. Transcatheter aortic valve thrombosis: the relation between hypo-attenuated leaflet thickening, abnormal valve haemodynamics, and stroke. *Eur Heart J* 2017;38:1207–1217.
39. Jose J, Sulimov DS, El-Mawardi M, Sato T, Allali A, Holy EW, Becker B, Landt M, Kebernik J, Schwarz B, Richardt G, Abdel-Wahab M. Clinical bioprosthetic heart valve thrombosis after transcatheter aortic valve replacement: incidence, characteristics, and treatment outcomes. *JACC Cardiovasc Interv* 2017;10:686–697.
40. Chakravarty T, Sondergaard L, Friedman J, De Backer O, Berman D, Kofoed KF, Jilaihawi H, Shiota T, Abramowitz Y, Jørgensen TH, Rami T, Israr S, Fontana G, de Knecht M, Fuchs A, Lyden P, Trento A, Bhatt DL, Leon MB, Makkar RR, Ramzy D, Cheng W, Siegel RJ, Thomson LM, Mangat G, Hariri B, Sawaya FJ, Iversen HK. Subclinical leaflet thrombosis in surgical and transcatheter bioprosthetic aortic valves: an observational study. *Lancet* 2017;389:2383–2392.
41. Bax JJ, Delgado V. Further insight into transcatheter and surgical aortic bioprosthetic valve thrombosis. *Eur Heart J* 2017;38:2208–2210.
42. van Rosendaal PJ, van Wijngaarden SE, Kamperidis V, Kong WKF, Leung M, Ajmone MN, Delgado V, Bax JJ. Integrated imaging of echocardiography and computed tomography to grade mitral regurgitation severity in patients undergoing transcatheter aortic valve implantation. *Eur Heart J* 2017;38:2221–2226.
43. Singh P, Emami H, Subramanian S, Maurovich-Horvat P, Marincheva-Savcheva G, Medina HM, Abdelbaky A, Alon A, Shankar SS, Rudd JH, Fayad ZA, Hoffmann U, Tawakol A. Coronary plaque morphology and the anti-inflammatory impact of atorvastatin: a multicenter 18F-Fluorodeoxyglucose positron emission tomographic/computed tomographic study. *Circ Cardiovasc Imaging* 2016;9:e004195.
44. Dweck MR, Abgral R, Trivieri MG, Robson PM, Karakatsanis N, Mani V, Palmisano A, Miller MA, Lala A, Chang HL, Sanz J, Contreras J, Narula J, Fuster V, Padilla M, Fayad ZA, Kovacic JC. Hybrid magnetic resonance imaging and positron emission tomography with fluorodeoxyglucose to diagnose active cardiac sarcoidosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1016/j.jcmg.2017.02.021.
45. Salaun E, Sportouch L, Barral PA, Hubert S, Lavoute C, Casalta AC, Pradier J, Ouk D, Casalta JP, Lambert M, Gouriet F, Gaubert JY, Dehaene A, Jacquier A, Tessonier L, Haentjens J, Theron A, Riberi A, Cammilleri S, Grisoli D, Jaussaud N, Collart F, Bonnet JL, Camoin L, Renard S, Cuisset T, Avierinos JF, Lepidi H, Mundler O, Raoult D, Habib G. Diagnosis of infective endocarditis after TAVR: value of a multimodality imaging approach. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017. doi:10.1016/j.jcmg.2017.05.016.
46. Liga R, Vontobel J, Rovai D, Marinelli M, Caselli C, Pietila M, Teresinska A, Aguade-Bruix S, Pizzi MN, Todiere G, Gimelli A, Chiappino D, Marraccini P, Schroeder S, Drosch T, Poddighe R, Casolo G, Anagnostopoulos C, Pugliese F, Rouzet F, Le GD, Cappelli F, Valente S, Gensini GF, Zawaideh C, Capitanio S, Sambucetti G, Marsico F, Filardi PP, Fernandez-Golfín C, Rincon LM, Graner FP, de Graaf MA, Stehli J, Reyes E, Nkomo S, Maki M, Lorenzoni V, Turchetti G, Carpeggiani C, Puzzuoli S, Mangione M, Marcheschi P, Giannesi D, Nekolla S, Lombardi M, Sicari R, Scholte AJ, Zamorano JL, Underwood SR, Knuuti J, Kaufmann PA, Neglia D, Gaemperli O. Multicentre multi-device hybrid imaging study of coronary artery disease: results from the evaluation of integrated cardiac imaging for the detection and characterization of ischaemic heart disease (EVINCI) hybrid imaging population. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2016;17:951–960.