

# Coronaire CT-scans: uniformering van voorbereiding tot verslaglegging

---

Maart 2023



Nederlandse Vereniging voor  
**Radiologie**



Federatie  
**Medisch  
Specialisten**

## **INITIATIEF**

Nederlandse Vereniging voor Radiologie (NVvR)

## **IN SAMENWERKING MET**

Nederlandse Vereniging voor Cardiologie (NVVC), Nederlandse Vereniging voor Klinische Fysica (NVKF),  
Nederlandse Vereniging voor Medische Beeldvorming en Radiotherapie (NVMBR)

## **MET ONDERSTEUNING VAN**

Kennisinstituut van de Federatie Medisch Specialisten

## **FINANCIERING**

Dit project werd gefinancierd door de Stichting Kwaliteitsgelden Medisch Specialisten (SKMS)

## **GEAUTORISEERD DOOR:**

Nederlandse Vereniging voor Radiologie (NVvR), Nederlandse Vereniging voor Cardiologie (NVVC), Nederlandse  
Vereniging voor Klinische Fysica (NVKF)

## **COLOFON**

Einddocument 'Coronaire CT-scans: uniformering van voorbereiding tot verslaglegging'

© 2023

Nederlandse Vereniging voor Radiologie  
Mercatorlaan 1200  
3528 BL Utrecht  
Tel. (088) 110 2525  
Email: [nvvr@radiologen.nl](mailto:nvvr@radiologen.nl)  
Website: [www.radiologen.nl](http://www.radiologen.nl)

*Alle rechten voorbehouden.*

*De tekst uit deze publicatie mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën of enige andere manier, echter uitsluitend na voorafgaande toestemming van de uitgever. Toestemming voor gebruik van tekst(gedeelten) kunt u schriftelijk of per e-mail en uitsluitend bij de uitgever aanvragen. Adres en e-mailadres: zie boven.*

## Inhoudsopgave

Samenstelling werkgroep .....	4
Inleiding .....	5
Protocol patiëntvoorbereiding coronaire CT-scan .....	7
Protocol acquisitie coronaire CT-scan .....	10
Acquisitieprotocol generieke instelling.....	11
Acquisitieprotocollen GE.....	12
Acquisitieprotocol Canon.....	14
Acquisitieprotocollen Philips.....	15
Acquisitieprotocollen Siemens.....	17
Contrastinjectieprotocollen .....	19
Protocol beeldbewerking coronaire CT-scan .....	21
Protocol gestandaardiseerde verslaglegging coronaire CT-scan.....	22
Onderhoudsplan.....	25
Bijlagen .....	26
Bijlage 1: Stroomschema 'Vorbereiding met hartslagverlagende mediatie bij patiënten die een coronaire CT-scan ondergaan' .....	26
Bijlage 2: Literatuuronderzoek Vorbereiding met hartslagverlagende medicatie voor coronaire CT-scan ....	28
Bijlage 3: Folder 'Patiënteninformatie: CT-scan van het hart' .....	34
Bijlage 4: Stralingsdosis.....	36
Bijlage 5: Literatuuronderzoek Contrastinjectieprotocol bij coronaire CT-scan .....	38

## Samenstelling werkgroep

Voor het ontwikkelen van deze set van protocollen voor coronaire CT-scans is in 2020 een werkgroep ingesteld, bestaande uit vertegenwoordigers van relevante specialismen betrokken bij coronaire CT-scans.

### Werkgroep

- Dhr. Prof. dr. R.P.J. (Ricardo) Budde (voorzitter), radioloog, NVvR
- Dhr. F.P. (Floriaan) Dijkman, radioloog, NVvR
- Dhr. dr. J. (Jesse) Habets, radioloog, NVvR
- Dhr. dr. F.A.A. (Firdaus) Mohamed Hoesein, radioloog, NVvR
- Dhr. dr. R.N. (Nils) Planken, radioloog, NVvR
- Dhr. dr. A.M.R. (Arnold) Schilham, klinisch fysicus, NVKF
- Dhr. dr. J.R. (Jorik) Timmer, cardioloog, NVVC
- Dhr. J.H. (Jasper) van Veen, Medische Beeldvormings- en Bestralingsdeskundige, NVMBR
- Dhr. dr. C. (Casper) Muhl, radioloog, Maastricht UMC (*onderdeel contrastinjectieprotocol*)

### Vendors CT-scans

- Canon - Dhr. C. (Cees) Verlooi
- GE - Mevr. M. (Marloes) ter Braak
- Philips - Mevr. S. (Sofie) Kampshof
- Siemens - Dhr. M. (Martin) Boer

### *Met ondersteuning van:*

- Dhr. V. (Vincent) Cox, adviseur, Kennisinstituut van Medisch Specialisten
- Mevr. M.L. (Miriam) te Lintel Hekkert, junior adviseur, Kennisinstituut van Medisch Specialisten
- Mevr. dr. K.P.J. (Kirsten) Top-Smits, adviseur, Kennisinstituut van Medisch Specialisten
- Dhr. dr. J. (Joppe) Tra, senior adviseur, Kennisinstituut van Medisch Specialisten

### *Met dank aan:*

- Mevr. H. (Hannie) Versteeg, laborant Elisabeth-TweeSteden Ziekenhuis
- Dhr. W.J. (Willem Jan) van der Woude, Medische Beeldvormings- en Bestralingsdeskundige, Radboudumc
- Mevr. K. (Karli) Hubert, adviseur kwaliteit & wetenschap, NVvR
- Mevr. dr. K. (Karin) Flobbe, senior adviseur kwaliteit & wetenschap, NVvR
- Mevr. M.A. (Marieke) Zimmerman, directeur, NVvR

## Inleiding

Beeldvorming van de coronair arteriën met computed tomography (CT) is in opkomst en wordt steeds vaker als diagnostische test van eerste keuze ingezet bij klachten van pijn op de borst. Het maken van een coronaire CT-scan kan echter technisch lastig zijn door onder andere de beweeglijkheid van het hart. Een goede patiëntvoorbereiding, een goed ingesteld CT-scan acquisitieprotocol en juiste beeldbewerking zijn hierbij noodzakelijk. Voor een heldere communicatie tussen aanvrager, radioloog en patiënt is een complete en gestructureerde verslaglegging nodig. Het doel van dit project is het borgen van de kwaliteit van coronaire CT-scans en het reduceren van de praktijkvariatie door uniforme protocollen voor beeld en verslag te ontwikkelen. Deze protocollen kunnen ook gebruikt worden door ziekenhuizen die willen starten met coronaire CT-scans waarmee de dekking van coronaire CT-scans ook kan toenemen.

In dit document vindt u de protocollen voor de patiëntvoorbereiding, de acquisitie, beeldbewerking en gestandaardiseerde verslaglegging. Daarnaast is een onderhoudsplan voor deze protocollen opgesteld. Aan het einde van dit document staan een aantal bijlages met aanvullende informatie.

### Waar gaat dit rapport over?

Dit document bevat uniforme basisprotocollen die als leidraad dienen voor de uitvoering en verslaglegging van coronaire CT-scans. De basisprotocollen zijn:

- Voorbereidingsprotocol voor de optimale voorbereiding van een patiënt, onder andere met medicatie. Hierbij zijn ook een stroomschema van de voorbereiding en een algemene folder met patiënteninformatie opgenomen in de bijlage.
- Scan acquisitieprotocollen voor de meest gangbare CT-scanners in Nederland met voorgestelde parameterinstellingen. Hierbij is aandacht voor stralingsbelasting, robuuste beeldkwaliteit, variatie in de hartfrequentie en beeldconstructie. Tevens wordt een leidraad voor de injectie van contrastvloeistof gegeven.
- Beeldbewerkingsprotocol met aanbevelingen voor gestandaardiseerde beeldbewerking van CT-beelden.
- Verslagleggingsprotocol met een gestandaardiseerde template waarin alle relevante items beschreven zijn voor het verslag van een coronaire CT-scan.

De commissie hecht er waarde aan te benadrukken dat de protocollen in dit document als leidraad kunnen dienen. Er zijn soms variaties mogelijk en/of gebruikelijk in de lokale situatie. Er is niet getracht overal helemaal volledig te zijn m.b.t. de verschillende mogelijkheden. Indien een lokaal protocol goed volstaat en resulteert in een goede kwaliteit scan met acceptabele stralingsdosis is er natuurlijk niets op tegen dit te blijven gebruiken.

Ten slotte is een onderhoudsplan geschreven voor bovenstaande protocollen om nieuwe ontwikkelingen op te nemen.

### Voor we is dit rapport bedoeld?

Deze protocollen zijn bestemd voor alle zorgverleners betrokken bij het aanvragen of uitvoeren van een coronaire CT-scan. Specifiek zijn dat radiologen, cardiologen, medische beeldvormings- en bestralingsdeskundigen (MBB'ers), klinisch fysici, nucleair geneeskundigen met cardiovasculaire CT (MRI) certificering en overige medisch specialisten (o.a. internist met subspecialisatie vasculaire geneeskunde) en/of huisartsen die coronaire CT-scans aanvragen.

### Voor patiënten

Een coronaire CT-scan is een CT-scan van het hart. Een CT-scan is een onderzoeksmethode waarbij het lichaam met röntgenstralen in beeld worden gebracht. Bij een CT-scan worden dezelfde röntgenstralen gebruikt als bij een 'gewone' röntgenfoto. Het verschil met een röntgenfoto is dat voor een CT-scan in korte tijd vele opnames uit verschillende richtingen rondom de patiënt worden gemaakt. Hiermee kan een 3D-dwarsdoorsnede van het hart en de bloedvaten worden berekend.

### Hoe is dit rapport tot stand gekomen?

Het initiatief voor deze protocollen is afkomstig van de Nederlandse Vereniging voor Radiologie (NVvR). Het document en de protocollen zijn opgesteld door een multidisciplinaire werkgroep met vertegenwoordigers vanuit de radiologen, cardiologen, MBB'ers en klinisch fysici. Er werd aandacht besteed aan de patiënten met

het opstellen van een patiëntfolder. Tijdens de commentaarfase heeft de Harteraad als patiëntvereniging de mogelijkheid gehad dit document inclusief patiëntfolder tegen te lezen en zijn haar voorstellen hierin verwerkt. Het document is daarnaast ter commentaar opgestuurd naar de NVvR, NVVC, NVKF, NVMBR, NVNG en de NVALT (onderdeel hartslag verlagende medicatie).

# Protocol patiëntvoorbereiding coronaire CT-scan

## Informereren patiënt

Zie bijlage 3 voor de folder 'Patiënteninformatie: CT-scan van het hart'. De patiënteninformatie is een minimum set aan informatie welke nog moet worden aangepast aan de situatie in het eigen centrum.

## Voorafgaand aan scan

1. De indicatiestelling voor het onderzoek dient juist te zijn. De afwegingen hieromtrent vallen buiten het bestek van dit document.
2. Vraag de patiënt naar allergieën voor toediening jodiumhoudend contrastmiddel, conform lokaal protocol.
  - Overweeg een andere beeldvormende modaliteit bij (ernstige) allergie.
3. Controleer de nierfunctie (GFR), conform lokaal protocol.
  - Prehydratie conform lokaal protocol indien noodzakelijk.
  - Overweeg alternatieve beeldvormende modaliteit bij slechte nierfunctie.
4. Om een scan van goede diagnostische kwaliteit te krijgen, is het wenselijk dat de patiënt een zo laag mogelijke en regulaire hartslag heeft ten tijde van acquisitie. De aanvrager dient de volgende stappen te nemen:
  - Overleg met de radioloog indien patiënt een zeer onregelmatige of hoge hartslag heeft waarbij dit naar verwachting niet met medicatie verbeterd kan worden en overweeg alternatieve beeldvormende modaliteit.
  - Verzoek de patiënt geen cafeïne (koffie, energydranken, etc.) te nuttigen vanaf de dag voorafgaand aan de scan (zie bijlage 3 Patiënteninformatie).
  - Vraag contra-indicaties uit voor medicatie (nitroglycerine en bètablokkers). Aanvrager vraagt dit aan patiënt en beoordeelt andere beschikbare gegevens (voorgeschiedenis, ECG etc.) en vermeldt op de aanvraag of er contra-indicaties zijn. Ook als er geen contra-indicaties zijn wordt dit vermeld door aanvrager. Dit is bij voorkeur geregeld in het aanvraagformulier in het EPD-systeem.
  - Schrijf eventueel een recept voor een bètablokker uit (zie paragraaf onder m.b.t. medicatie).
5. Controleer de aanvraag op ingevulde contra-indicaties medicatie een marginale toetsing ten tijde van de scan.
  - Contra-indicaties nitroglycerine:
    - o ernstige aortaklepstenose;
    - o hypotensie (systole < 100 mmHg) of sildenafil-gebruik;
    - o ernstige anemie;
    - o verhoogde intracraniale druk, bijvoorbeeld bij hoofdtrauma of hersenbloeding;
    - o acuut falen van de bloedsomloop waaronder (hypovolemische) shock;
    - o cardiogene shock (behalve bij een voldoende hoge einddiastolische druk in het linkerventrikel door intra-aortale counterpulsatie of positieve inotropica);
    - o relatieve contra-indicatie HOCM, overleg met cardioloog.
  - Contra-indicaties bètablokker:
    - o 2<sup>e</sup>/3<sup>e</sup>-graads AV-block;
    - o ernstige aortaklepstenose;
    - o systolisch hartfalen;
    - o hypotensie (systole < 100 mmHg);
    - o gebruik Verapamil, Diltiazem, Amiodaron, Digoxine.
  - Geen contra-indicaties: ernstige astma of ernstige COPD (in geval van cardioselectieve bètablokker).

*Er is specifiek nagevraagd bij de NVALT voor het gebruik van bètablokkers bij patiënten met ernstig astma of ernstig COPD. Zij geven aan dat in het geval van cardioselectieve bètablokker, waaronder metoprolol, ernstig astma of ernstig COPD geen contra-indicatie is.*

## Medicatie

### 1. Vasodilatatie

Om te zorgen dat de coronairarteriën zoveel mogelijk gedilateerd zijn voordat er een scan wordt gemaakt, wordt het toedienen van nitroglycerinespray aanbevolen. Dit komt de kwaliteit van de scan ten goede en hierdoor zijn er meer coronair segmenten te beoordelen.

#### Nitroglycerine

- De aanbevolen dosering is 1 puff (= 0,4 mg) sublinguaal direct voorafgaand aan de scan. Om te zorgen dat een dosis volledig wordt toegediend, wordt geadviseerd eerst een keer een puff op een gaasje te spuiten zodat het buisje zich goed vult. Daarna gaat de puff onder de tong bij de patiënt.
- Timing: dien de puff voorafgaand aan de calciumscore of kort voorafgaand aan de CT-coronaire angiografieën (CTCA) toe. De werkingsduur van nitroglycerinespray betreft 5 – 12 minuten.

### 2. Hartfrequentie verlagende medicatie

Een lagere hartfrequentie komt de beeldacquisitie ten goede. Daarom wordt het voorschrijven van hartslagfrequentie verlagende medicatie aanbevolen. Er is een stroomschema opgesteld voor de voorbereiding met hartslagfrequentie verlagende medicatie bij patiënten die een coronaire CT-scan ondergaan (zie bijlage 1). Er is geen wetenschappelijke literatuur voorhanden waarin de optimale hartslag beschreven staat. Op basis van consensus binnen de werkgroep wordt daarom geadviseerd te streven naar een hartslag van 60 slagen per minuut of lager. Afhankelijk van type CT-scanner welke beschikbaar is kan een streefhartslag van circa 5 – 10 slagen per minuut hoger geaccepteerd worden.

Voor de hartfrequentie verlagende medicatie is een systematisch literatuuronderzoek uitgevoerd. De uitgebreide resultaten zijn te vinden in bijlage 2. Op basis van de literatuuronderzoek en discussie in de werkgroepvergaderingen is de werkgroep gekomen tot het volgende advies met een duidelijke voorkeur voor orale voorbehandeling:

#### Voorbehandeling (door aanvrager)

- Behandel een patiënt met een rusthartfrequentie >60 slagen per minuut met een orale cardioselectieve langwerkende bètablokker zoals metoprolol retard, bij voorkeur te starten twee tot drie dagen voorafgaand aan de scan.
- Houd hierbij een dosering aan van 1dd 25 mg bij patiënten met een startfrequentie van 61 – 65 en 1dd 50 mg bij patiënten met een startfrequentie >65 slagen per minuut.
- Geef op de dag van de scan een dubbele dosis, uiterlijk twee uur voor de scan.
- Wanneer op de dag van de CT-scan de hartslag hoger dan 60 slagen per minuut is, geef dan 50 – 100 mg metoprololtartraat oraal of 5 – 10 mg metoprololtartraat intraveneus op de afdeling radiologie.
- Indien dit onvoldoende effect heeft, voer dan een aangepaste scan uit, plan een nieuwe afspraak<sup>1</sup> of overweeg een andere modaliteit.

#### Voorbehandeling niet mogelijk (door radioloog)<sup>2</sup>

- Wanneer een langere voorbereiding niet mogelijk is, behandel een patiënt dan met orale cardioselectieve kortwerkende bètablokker zoals metoprololtartraat.
- Houd hierbij een dosering van 50 – 100 mg aan op de dag van de scan.
- Bij onvoldoende effect van de orale bètablokker kan worden overwogen om ten tijde van de scan intraveneus bètablokker bij te spuiten in de dosering van 5 mg en bij onvoldoende effect na vijf minuten eventueel nogmaals 5 mg. Dit kan ook in stappen van 2,5 mg.

---

<sup>1</sup> Indien de streefhartfrequentie niet wordt bereikt, dan kan gekozen worden voor een prospectieve ECG triggered scan in systole, ECG padding met zowel diastolische en systolische opnamen of een retrospectieve ECG gated scan, of een nieuwe scan inplannen met een uitgebreidere voorbereiding.

<sup>2</sup> Dit is een voorstel voor een korte voorbehandeling. In de lokale situatie kan het voorkomen dat dit voorstel niet mogelijk is. Dan kan gekozen worden om direct over te gaan op intraveneus toediening van de bètablokker.



- Indien dit onvoldoende effect heeft, voer dan een aangepaste scan uit, plan een nieuwe afspraak<sup>1</sup> of overweeg een andere modaliteit.

Indien de streefhartfrequentie niet wordt bereikt, dan kan afhankelijk van de klinische situatie en de temporele resolutie van de scanner de scan toch uitgevoerd worden (met risico op verminderde beeldkwaliteit) of een nieuwe scan ingepland worden met een uitgebreidere voorbereiding.

Tip: laat de patiënt oefenen met het ademcommando. Bij inhouden van de adem daalt de hartfrequentie vaak meerdere slagen per minuut. Valsalva moet worden voorkomen zodat de contrast bolus door de ademhaling niet te veel wordt beïnvloed en daarmee het risico op focaal verminderde attenuatie beperkt wordt.

## Infuus

Check voorafgaand aan het geven van contrastvloeistof of de patiënt een allergie heeft voor de contrastvloeistof. Voor het inbrengen van de contrastvloeistof wordt een infuus (18 gauge, 4 – 6,5 ml/s, druklimiet 300 psi) in de arm (bij voorkeur rechts) aangebracht aanbevolen. Indien een 18 gauge infuus niet wordt verdragen door de patiënt, dan heeft een kleiner infuus (20 gauge, 3 – 5 ml/s) de voorkeur. Indien scannen met lage kV mogelijk is, kan een nog kleiner infuus (22 gauge, 2 – 3,5ml/s) overwogen worden, maar dit verdient niet de voorkeur.

## Aansluiten ECG

Enkele tips voor het goed aansluiten van het ECG:

- plak de elektrodes bij voorkeur niet in het scanvlak;
- plak de elektrodes niet op de spier (pectoralis major);
- maak goed contact met de huid;
  - o wanneer haar het contact belemmert, overweeg dit weg te scheren;
- gebruik alcohol om de huid te ontvetten;
- controleer het ECG trace op kwaliteit van het signaal (R-toppen herkenbaar, geen storing).

## Positionering op de scanner

De patiënt wordt bij voorkeur zo gepositioneerd dat het hart zich in het isocentrum van de CT-scanner bevindt.

## Literatuurlijst

- Abbara S, Blanke P, Maroules CD, Cheezum M, Choi AD, Han BK, et al. SCCT guidelines for the performance and acquisition of coronary computed tomographic angiography: A report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee Endorsed by the North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI). *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2016;10(6):435-49. Epub 2016/10/12. doi: 10.1016/j.jcct.2016.10.002. Pubmed PMID: 27780758
- Takx RA, Suchá D, Park J, Leiner T, Hoffmann U. Sublingual Nitroglycerin Administration in Coronary Computed Tomography Angiography: a Systematic Review. *Eur Radiol.* 2015 Dec;25(12):3536-42. Epub 2015/05/21. doi: 10.1007/s00330-015-3791-3. Pubmed PMID: 25994194.

## Protocol acquisitie coronaire CT-scan

De werkgroep heeft in samenwerking met de verschillende vendors scan acquisitieprotocollen opgesteld voor het verrichten van een calciumscore en een CT coronary angiography (CTCA). Er is gekozen om acquisitieprotocollen te maken voor de vier grootste vendors in Nederland en van de CT-scanners die het meest in de Nederlandse ziekenhuizen staan. De acquisitieprotocollen zijn beschikbaar voor GE, Canon, Philips en Siemens. Daarnaast is er ook een generiek acquisitieprotocol opgesteld, met daarin de logica waarmee een acquisitieprotocol voor andere scanner modellen kan worden opgesteld. Het uitgangspunt was om acquisitieprotocollen te maken die robuust zijn en in de meerderheid van de patiënten tot goede beeldkwaliteit leiden. Er is nadrukkelijk niet getracht om het uiterste te bereiken in stralingsreductie, omdat dit ten koste kan gaan van de robuustheid van de protocollen en in sommige gevallen een dusdanige expertise vereist waarvan niet verlangd kan worden dat die in elk ziekenhuis voorhanden is. In bijlage 4 staat meer uitleg over de referentiestralingsdosis. Deze acquisitieprotocollen kunnen derhalve worden gebruikt als referentie en uitgangspunt en eventueel worden aangepast op individuele basis. Hierbij kan overleg met uw vendor applicatiespecialist waardevol zijn.

## Acquisitieprotocol generieke instelling

	Scan 1 Calcium Score	Opmerkingen	Scan 2 Coronairen	Opmerkingen
Scan start	1 cm onder carina		1 cm onder carina	
Scan end	Hartbodem		Hartbodem	
Scan type	Prospectief ECG getriggerd		Prospectief ECG getriggerd	
X-ray beam collimation	Zo breed mogelijk		Zo breed mogelijk	
Acquired slice collimation	Zo dun mogelijk		Zo dun mogelijk	
Rotation time	Zo kort mogelijk		Zo kort mogelijk	
Pitch	--		--	
Temporal resolution	Zo hoog mogelijk	Overweeg gebruik vendor-specifieke tools	Zo hoog mogelijk	Overweeg gebruik vendor-specifieke tools
ECG timing & padding	+/- 78%	In principe diastolisch, +/- 78%. Bij hoge hartfrequentie systolisch +/-30-40%	+/- 78%	In principe diastolisch, +/- 78%. Bij hoge hartfrequentie systolisch +/-30-40% met iets padding afhankelijk van de hartslag
Scan direction	Geen specifieke voorkeur		Geen specifieke voorkeur	
mA modulation	geen		geen	
mAs	Afhankelijk van gekozen CTDIvol		Afhankelijk van gekozen CTDIvol	
kVp adjustment	geen		Indien aanbevolen door leverancier	
Reference kVp	120		Zo laag mogelijk	
CTDIvol	Hangt van iteratieve reconstructie af. Zonder IR ongeveer CTDIvol(32cm) = 9 mGy; gebruik een cardiac bow-tie filter indien mogelijk		Hangt van iteratieve reconstructie af. Zonder IR ongeveer CTDIvol(32cm) = 33 mGy; gebruik een cardiac bow-tie filter indien mogelijk	
Reconstructed Slice thickness	3 mm		≤1 mm	
Slice increment	3mm		≤1 mm	Aansluitend
ECG phases regular	Zelfde als bij ECG timing		Leverancier aanbevolen instelling	
Kernel	Leverancier aanbevolen instelling voor calcium scoring		Standaard cardiac of vascular	
IR Algorithm	Geen iteratieve reconstructie, tenzij aanbevolen door leverancier		Leverancier aanbevolen instelling	
Iterative strength	Geen iteratieve reconstructie, tenzij aanbevolen door leverancier		Gebruiker afhankelijk	

## Acquisitieprotocollen GE

### GE 4 centimeter systemen

	Calcium Score	Opmerkingen	Coronairen prospectief	Opmerkingen
Scan start	Carina		Carina	Wanneer een bypass is gedaan, begin boven de clavicula
Scan end	Hartbodem		Hartbodem	
Scan type	Cine segment		Cardiac SnapShot Pulse cine (Step and shoot)	
X-ray beam collimation	40 mm		40 mm	
Acquired slice collimation	2,5 mm		0,625 mm	
Rotation time	0,35 s		0,35 s	
Pitch	Niet van toepassing		Niet van toepassing	
ECG timing & padding	75%		75% met 80 ms padding voor gebruik Snap Shot Freeze	
Scan direction	Cranio-caudaal		Cranio-caudaal	
mA modulation	Nee		Nee	
mA	200 mA		(Vast) mA afhankelijk van de scout en BMI patiënt. Er wordt gemoduleerd over de fase. Voor en na 75% +/- padding slechts 30% van de dosis. 500-550 mA bij gebruik van Cardiac small bowtie filter Over de fase 75% +/-padding	
kVp adjustment	Vast 120 kV		kV keuze afhankelijk van BMI	
Reference kVp	120 kV	120 kV is vereist voor de GE calcium score post processing software.	100 kV of 120 kV	100 kV 80 cc contrast flow 6ml/s 120 kV 100cc contrast flow 7ml/s
Reconstructed Slice thickness	2,5 mm	2,5 mm coupes vereist voor post processing software	0,625 mm	
Slice increment	2,5 mm		0,625 mm	Dunne coupes worden gebruikt voor de post-processing
ECG phases regular	75%		75%	
ECG phases arithmic	40%		45% en 75% (bij retrospectief scannen wordt er gemoduleerd, 25-85% krijgen volle dosis).	Alle fasen worden gebruikt voor de postprocessing
IR Algorithm	ASIR	Of ASIR-V / True Fidelity indien beschikbaar	ASIR	Of ASIR-V / True Fidelity indien beschikbaar
Iterative strength	50%		50%	

## GE 8 of 16 centimeter systemen

	Calcium Score	Opmerkingen	Coronairen prospectief	Opmerkingen
Scan start	Carina		Carina	Wanneer een bypass is gedaan, begin boven de clavicula
Scan end	Hartbodem		Hartbodem	
Scan type	Axiaal		Axiaal	
X-ray beam collimation	80 of 160 mm		80 of 160 mm	
Acquired slice collimation	2,5 mm		0,625 mm	
Rotation time	0,35 s		0,28 s	
Pitch	Niet van toepassing		Niet van toepassing	
ECG timing & padding	75%		75% met 80 ms padding voor gebruik Snap Shot Freeze	
Scan direction	Cranio-caudaal bij 80 mm Geen tafilverplaatsing bij 160 mm		Cranio-caudaal bij 80 mm Geen tafilverplaatsing bij 160 mm	
mA modulation	Ja, 50-400 mA		Ja, 100 tot maximaal 1300 mA	Maximum mA afhankelijk van röntgenbuis
mA	Afhankelijk van mA modulatie, wordt bepaald middels de ingestelde Noise Index.	GE protocol heeft een Noise Index van 20 als uitgangswaarde	Afhankelijk van mA modulatie, wordt bepaald middels de ingestelde Noise Index.	
kVp adjustment	Vast 120 kV		kV keuze afhankelijk van patiënt formaat	kV wordt bepaald middels kV assist welke het patiënt formaat AP+Lat meet en de patiënt daardoor in een kV categorie indeelt.
Reference kVp	120 kV	120 kV is vereist voor de GE calcium score post processing software.	80, 100 of 120 kV	
Reconstructed Slice thickness	2,5 mm	2,5 mm coupes vereist voor post processing software	0,625 mm	
Slice increment	2,5 mm		0,625 mm of 0,3125 mm voor processing	Dunne coupes worden gebruikt voor de post-processing
ECG phases regular	75%		75%	
ECG phases arithmic	40%		40-50% en 70-80% bij irregulariteit.	Bij zowel irregulariteit als een hoge hartslag is het mogelijk om bijvoorbeeld een volledig R-R interval te scannen. De CT is niet gelimiteerd aan een bepaalde hartslag.
IR Algorithm	ASIR-V	Of True Fidelity indien beschikbaar	ASIR-V	Of True Fidelity indien beschikbaar
Iterative strength	50%		50%	

## Acquisitieprotocol Canon

### CANON Aquilion One Prism and Genesis

	Calcium Score	Opmerkingen	Coronairen prospectief	Opmerkingen
Scan start	Carina		1cm boven LM (bovenste coronair afgang aorta)	Op basis van CaSc
Scan end	Hartpunt		1cm onder hartpunt	Op basis van CaSc
Scan type	Volume – CaSc scanmode		Volume – Prospective CTA	
X-ray beam collimation	n/a		n/a	
Acquired slice collimation	0,5 mm		0,5 mm	
Rotation time	0,275 s		0,275 s	
Pitch	n/a		n/a	
ECG timing & padding	40% of 75% van RR		HF < 50 73% - 77% HF 50 – 65 70% - 80% HF 65 – 75 30% - 80% HF 75 – 100 30% - 80% 2 beats HF > 100 Retrospective 2 of 3 beats	
Scan direction	Cranio-caudaal		Cranio - Caudaal	
mA modulation	SD 55	Img. Thickness 0.5 mm Recon FC12 Max 300 mA Min 40 mA	SD 40	Img. Thickness 0.5 mm Recon FC03 Max 900 mA Min 40 mA
mAs	n/a		n/a	
kVp adjustment	Nee		Ja	
Reference kVp	120 kV	Fixed	80, 100 of 120 kV	135 kV is mogelijk, maar niet altijd wenselijk. Systeem kiest zelf op basis van mA dat nodig is. Keuze gelimiteerd tot genoemde waarden.
Reconstructed Slice thickness	0,5 en 3 mm		0,5 mm	
Slice increment	0,25 en 3 mm	3mm for Agatston	0,25 mm	
ECG phases regular	n/a		n/a	
ECG phases arithmic	n/a		n/a	
IR Algorithm	FBP		AiCE Cardiac / First Cardiac / AiDR3D (enh) FC03	Op volgorde van voorkeur
Iterative strength	n/a		Standard	Mild en Strong mogelijk

## Acquisitieprotocollen Philips

### Philips IQon

	Calcium Score	Opmerkingen	Coronairen prospectief	Opmerkingen
Scan start	Carina		1 cm onder carina	
Scan end	Hartbodem		Hartbodem	
Scan type	Step and shoot		Step and shoot	
X-ray beam collimation	64*0,625 mm		64*0,625 mm	
Acquired slice collimation	128*0,625 mm		128*0,625 mm	
Rotation time	0,27 s		0,27 s	
Pitch	--		--	
ECG timing & padding	78%	geen padding	78% & 5% in overleg	
Scan direction	FFS cranio-caudaal		FFS cranio-caudaal	
mA modulation	geen		Dose right index	Dosisberekening op basis van survieview
Reference mAs	40		150	
kVp adjustment	n.v.t.		n.v.t.	
Reference kVp	120 kV		120 kV	
Reconstructed Slice thickness	3 mm		0,9 mm	
Slice increment	3 mm		0,45 mm	
ECG phases regular	78%		78%	
ECG phases arithmic	40%		78%+/-5%	
Kernel	XCA		Image definition: cardiac routine	
IR Algorithm	iDose4		IMR	
Iterative strength	Idose4 Level 3	Optimale ruisniveau	IMR level 1	

## Philips ICT prospective

	Calcium Score	Opmerkingen	Coronairen prospectief	Opmerkingen
Scan start	Carina		1 cm onder carina	
Scan end	Hartbodem		Hartbodem	
Scan type	Step and shoot		Step and shoot	
X-ray beam collimation	128*0,625 mm		128*0,625 mm	
Acquired slice collimation	256*0,625 mm		256*0,625 mm	
Rotation time	0,27 s		0,27 s	
Pitch	--		--	
ECG timing & padding	78%	Voor hogere hartslag kan overwogen worden om in systole (40%) te scannen	78% & 5% in overleg	Voor hogere hartslag kan overwogen worden om in systole (40%) te scannen
Scan direction	FFS cranio-caudaal		FFS cranio-caudaal	
mA modulation	geen		Dose right index	Dosisberekening op basis van survieview
Reference mAs	50	Patiënt 50- 80kg; reference mAs	210	
kVp adjustment	n.v.t.		n.v.t.	
Reference kVp	120 kV		120 kV	
Reconstructed Slice thickness	3 mm		0,9 mm	
Slice increment	3 mm		0,45 mm	
ECG phases regular	78%		78%	
ECG phases arithmic	40%		78%+/-5%	
Kernel	XCA		XCB	
IR Algorithm	iDose4		iDose4	
Iterative strength	iDose4 Level 3		IDose4 level 6	



## Acquisitieprotocollen Siemens

### Siemens Somatom Force

	Calcium Score	Opmerkingen	Coronairen prospectief	Opmerkingen
Scan start	Carina		Carina	
Scan end	Caudale hart grens		Caudale hart grens	
Scan type	Prospectief ECG- getriggered		Prospectief ECG- getriggered of High-pitch (Flash scan)	
Acquired slice collimation	XX * 1,2 mm	Collimatatie afhankelijk van scan lengte voor prospectieve scans.	XX * 0,6 mm	Collimatatie afhankelijk van scan lengte voor prospectieve scans. Vast collimatatie van 192x0,6 mm voor Flash scan
Rotation time	250 ms		250 ms	
Pitch	0 (prospectieve scan)		0 (prospectieve scan)	Bij hele lage en regulaire hartslag overweeg Flash scan met pitch 3,2
ECG acquisition timing & padding	Gebruik auto mode indien beschikbaar. Bij manueel instellen gebruik:  45% voor HR >70 BPM 70% voor HR < 70 BPM	Absoluut tijdsdelay van 280ms kan ook gebruikt worden.	Gebruik auto mode indien beschikbaar. Bij manueel instellen gebruik: 32%-58% for HR >70 BPM 62%-78% for HR<70 BPM	ECG fasen zijn 3% wijder dan gereconstrueerde fasen om een juiste werking van de auto phase recons te garanderen.
Scan direction	Cranio-caudaal		Cranio-caudaal	
mA modulation	CareDose 4D aan		CareDose 4D aan	
Reference mAs	80		230	
kVp adjustment	Semi, vast op 120 kV		Care KV aan	
Reference kVp	120 kV		120 kV	
Tissue of interest slider	Positie 3		Positie 11	
Reconstructed Slice thickness	3,0 mm		0,6 mm	
Slice increment	1,5 mm		0,4 mm	
Kernel	QR36		BV40 (evt aanvullen met I40 of BV49)	
Reconstructed ECG phases regular	45% voor HR >70 BPM 70% voor HR < 70 BPM	Absoluut tijdsdelay van 280ms kan ook gebruikt worden.	Elke 5%. Gebruik auto best systolic / diastolic indien beschikbaar	Bij Flash scan is geen specifieke reconstructie mogelijk.
IR Algorithm	Geen IR gebruikt		ADMIRE	
Iterative strength	-		3	
Bolus tracking ROI / threshold	Geen contrast		Test bolus. Scan start TB peak +5 seconden	
Contrast injection	Geen contrast		Test bolus	

## Siemens Somatom Drive

	Calcium Score	Opmerkingen	Coronairen prospectief	Opmerkingen
Scan start	Carina		Carina	
Scan end	Caudale hart grens		Caudale hart grens	
Scan type	Prospectief ECG-getriggered		Prospectief ECG- getriggered of High-pitch (Flash scan)	
<b>X-ray beam collimation</b>				
Acquired slice collimation	32*1,2 mm		128*0,6 mm	
Rotation time	280 ms		280 ms	
Pitch	0 (prospectieve scan)		0 (prospectieve scan)	Bij hele lage en regulaire hartslag overweeg Flash scan met pitch 3,2
ECG timing & padding	Gebruik auto mode indien beschikbaar. Bij manueel instellen gebruik: 70% voor HR <65 BPM 45% voor HR 65-80 BPM 45% voor HR >80 BPM	Absoluut tijdsdelay van 280ms kan ook gebruikt worden.	Gebruik auto mode indien beschikbaar. Bij manueel instellen gebruik: 62%-78% voor HR <65 BPM 32%-78% voor HR 65-80 BPM 32%-58% voor HR >80 BPM	ECG fasen zijn 3% wijder dan gereconstrueerde fasen om een juiste werking van de auto phase recons te garanderen
Scan direction	Cranio-caudaal		Cranio-caudaal	
mA modulation	CareDose 4D aan		CareDose 4D aan	
Reference mAs	80		230	
kVp adjustment	Semi, vast op 120 kV		Care KV aan	
Reference kVp	120 kV		120 kV	
Tissue of interest slider	Positie 3		Positie 11	
Reconstructed Slice thickness	3,0 mm		0,6 mm	
Slice increment	1,5 mm		0,4 mm	
Kernel	B35f or QR36	Afhankelijk van software versie	I26F of BV40	Afhankelijk van software versie
Reconstructed ECG phases regular	Automatisch in auto mode 45% of 70% bij manueel instellen.		Each 5% of scanned interval. Elke 5%. Gebruik auto best systolic / diastolic indien beschikbaar	Bij Flash scan is geen specifieke reconstructie mogelijk.
IR Algorithm	Geen IR gebruikt		ADMIRE	
Iterative strength	-		3	
Bolus tracking ROI / threshold	Geen contrast		Test bolus. Scan start TB peak +5 seconden	
Contrast injection	Geen contrast		Test bolus	

## Contrastinjectieprotocollen

Voor de contrastinjectieprotocollen is een systematisch literatuuronderzoek uitgevoerd (bijlage 5). Het aanpassen of personaliseren van contrastinjectieprotocollen voor CT-scans maakt optimalisatie van de coronaire attenuatie waarden (325-500 HU) en een substantiële reductie in contrastdosis (tot 70%) mogelijk.

### Iodine delivery rate (IDR) tabellen

Voor contrasttoediening bij CTCA onderzoeken wordt een patiënt specifieke contrastbolus aanbevolen. Deze contrastbolus is idealiter aangepast op het lichaamsgewicht van de patiënt en het gekozen kV voor de CTCA scan. Een veel gebruikte methode om het contrastprotocol aan te passen, is de toepassing van specifieke IDR (bijlage 5). In onderstaande tabellen (Van den Boogert, 2021) staan de IDR-waarden voor verschillende combinaties lichaamsgewicht en kV ten behoeve van klinische implementatie.

IDR op basis van gewicht en kV							
	IDR	Kilo Voltage (kV)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	1,01	1,2	1,39	1,6	1,8	2
	60-74kg	1,08	1,28	1,48	1,7	1,9	2,12
	75-94kg	1,27	1,5	1,74	2	2,24	2,5
	95-109kg	1,39	1,65	1,91	2,2	2,47	2,75

De IDR is afhankelijk van de concentratie Iodium in het contrastmiddel en ook afhankelijk van de snelheid van toediening. Bij gebruik van een bepaalde contrastconcentratie kan de IDR worden aangepast door het contrastmiddel te verdunnen of de injectiesnelheid aan te passen. In de onderstaande tabellen is dit voor de meest gebruikte contrastmiddelen (300, 320, 350, 370 en 400 I mg/ml) uitgewerkt. In de linker kolom staat de methode van verdunning (% contrast) beschreven en in de rechter kolom de methode van injectiesnelheid aanpassing.

Als voorbeeld: Een patiënte komt voor een CTCA-onderzoek. Deze patiënte weegt 73 kg en er wordt gekozen om met 80 kV te scannen. De optimale IDR voor de combinatie gewicht en kV is een IDR van 1,28. Bij gebruik van een contrastmiddel met een Iodium concentratie van 370 mg/ml zou bij een injectiesnelheid van 6,5 ml/s het contrast verdund moeten worden tot 53% contrastmiddel en 47% NaCl. Als alternatief kan ook alleen de injectiesnelheid worden ingesteld zonder verdunning, in dit geval 3,5 ml/s 100% contrastmiddel.

Percentage contrast bij gebruik contrastmiddel 300 I mg/ml							
Flow 8 ml/s Max IDR 2,4	IDR	Kilo Voltage (kV)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	42%	50%	58%	67%	75%	83%
	60-74kg	45%	53%	62%	71%	79%	88%
	75-94kg	53%	63%	73%	83%	93%	100%
	95-109kg	58%	69%	80%	92%	100%	100%

Percentage contrast bij gebruik contrastmiddel 320 I mg/ml							
Flow 7,5 ml/s Max IDR 2,4	IDR	Kilo Voltage (kV)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	42%	50%	58%	67%	75%	83%
	60-74kg	45%	53%	62%	71%	79%	88%
	75-94kg	53%	63%	73%	83%	93%	100%
	95-109kg	58%	69%	80%	92%	100%	100%

Percentage contrast bij gebruik contrastmiddel 350 I mg/ml							
Flow 7 ml/s Max IDR 2,45	IDR	Kilo Voltage (kV)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	41%	49%	57%	65%	73%	82%
	60-74kg	44%	52%	60%	69%	78%	87%
	75-94kg	52%	61%	71%	82%	91%	100%
	95-109kg	57%	67%	78%	90%	100%	100%

Percentage contrast bij gebruik contrastmiddel 370 I mg/ml							
Flow 6,5 ml/s Max IDR 2,41	IDR	Kilo Voltage (kV)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	42%	50%	58%	66%	75%	83%
	60-74kg	45%	53%	61%	71%	79%	88%
	75-94kg	53%	62%	72%	83%	93%	100%
	95-109kg	58%	68%	79%	91%	100%	100%

Percentage contrast bij gebruik contrastmiddel 400 I mg/ml							
Flow 6 ml/s Max IDR 2,4	IDR	Kilo Voltage (kV)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	42%	50%	58%	67%	75%	83%
	60-74kg	45%	53%	62%	71%	79%	88%
	75-94kg	53%	63%	73%	83%	93%	100%
	95-109kg	58%	69%	80%	92%	100%	100%

Flow rate bij gebruik contrastmiddel 300 I mg/ml							
IDR	Kilo Voltage (kV)	Flow rate (ml/s)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	3,4	4,0	4,6	5,3	6,0	6,7
	60-74kg	3,6	4,3	4,9	5,7	6,3	7,1
	75-94kg	4,2	5,0	5,8	6,7	7,5	8,3
	95-109kg	4,6	5,5	6,4	7,3	8,2	9,2

Flow rate bij gebruik contrastmiddel 320 I mg/ml							
IDR	Kilo Voltage (kV)	Flow rate (ml/s)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	3,2	3,8	4,3	5,0	5,6	6,3
	60-74kg	3,4	4,0	4,6	5,3	5,9	6,6
	75-94kg	4,0	4,7	5,4	6,3	7,0	7,8
	95-109kg	4,3	5,2	6,0	6,9	7,7	8,6

Flow rate bij gebruik contrastmiddel 350 I mg/ml							
IDR	Kilo Voltage (kV)	Flow rate (ml/s)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	2,9	3,4	4,0	4,6	5,1	5,7
	60-74kg	3,1	3,7	4,2	4,9	5,4	6,1
	75-94kg	3,6	4,3	5,0	5,7	6,4	7,1
	95-109kg	4,0	4,7	5,5	6,3	7,1	7,9

Flow rate bij gebruik contrastmiddel 370 I mg/ml							
IDR	Kilo Voltage (kV)	Flow rate (ml/s)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	2,7	3,2	3,8	4,3	4,9	5,4
	60-74kg	2,9	3,5	4,0	4,6	5,1	5,7
	75-94kg	3,4	4,1	4,7	5,4	6,1	6,8
	95-109kg	3,8	4,5	5,2	5,9	6,7	7,4

Flow rate bij gebruik contrastmiddel 400 I mg/ml							
IDR	Kilo Voltage (kV)	Flow rate (ml/s)					
		70kV	80kV	90kV	100kV	110kV	120kV
Gewicht (kg)	39-59kg	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
	60-74kg	2,7	3,2	3,7	4,3	4,8	5,3
	75-94kg	3,2	3,8	4,4	5,0	5,6	6,3
	95-109kg	3,5	4,1	4,8	5,5	6,2	6,9

## Protocol beeldbewerking coronaire CT-scan

De volgende aanbevelingen worden door de werkgroep gedaan t.a.v. de beeldbewerking van de verkregen beelden:

### Calcium score scan

- Gebruik gespecialiseerde software om de calcium score te bepalen.
- Gebruik in principe 3 mm coupes voor de kalkscore berekening, met uitzondering van GE scanners en Philips Brilliance 64 scanners, daarvoor geldt 2,5 mm.
- Gebruik een threshold van 130 HU voor het identificeren van calcificaties. Dit zal de standaard instelling zijn bij de meeste software maar kan soms aangepast worden.
- Includeer alle gecalcificeerde laesies in de coronairen in de score. Afhankelijk van de gebruikte software worden de laesies al gemarkeerd door een algoritme (in dat geval is het noodzakelijk te controleren of er geen laesies gemist zijn of onjuist zijn geïdentificeerd) of moet de gebruiker zelf de laesies aanvinken. Let hierbij op dat er geen kalk in de mitraliskleppannulus, de aortaklep en aortawand wordt meegenomen.
- Bepaal de Agatston kalkscore van de gehele coronaire vaatboom. Het bepalen van een aparte kalkscore per coronair arterie wordt niet aanbevolen.
- Rapporteer de Agatston calcium score.
- Geadviseerd wordt ook de percentielscore te bepalen. (Dit kan ingebouwd zijn bij sommige software pakketten of zelf online berekend worden zoals bijv. de MESA percentiel score via <https://www.mesa-nhlbi.org/Calcium/input.aspx>).

### CTCA

- Start de beoordeling met de dunne axiale coupes, dat kan in PACS.
- Indien het lumen van de coronairen goed op standaardbeelden te beoordelen is en er geen relevante afwijkingen zijn, kan afgezien worden van uitgebreide reconstructies met geavanceerde beeldbewerking.
- In alle andere gevallen is het advies om de beelden met geavanceerde beeldbewerking te bekijken.
- Het advies is om alle verschillende beschikbare reconstructiefasen te bekijken en gebruiken als er segmenten zijn met artefacten. Soms kan een artefact namelijk in een andere reconstructiefase minder of niet aanwezig zijn.
- Gebruik multiplanar reformat functionaliteit om in verschillende richtingen een laesie te beoordelen.
- Gebruik van curved multiplanar reconstructions kan behulpzaam zijn. Cave: een juiste centerline segmentatie is hierbij essentieel en dient bij twijfel gecontroleerd en eventueel aangepast te worden.
- Geadviseerd wordt de stenosegraad in te schatten op basis van visuele beoordeling (eye-balling) in plaats van automatische metingen. Exacte percentages zijn niet relevant. De categorieën van de CAD-RADS 2.0 zijn nuttig voor de kliniek en zijn geassocieerd met betere interobserver agreement (zie protocol gestandaardiseerde verslaglegging coronaire CT-scan).
- Advies om een key image op te slaan van significante stenosen en/of atherosclerotische plaques met high risk features.

## Protocol gestandaardiseerde verslaglegging coronaire CT-scan

Met het protocol 'gestandaardiseerde verslaglegging coronaire CT-scan' hoopt de werkgroep een handzame en gebruiksvriendelijke leidraad te geven voor beginnende en gevorderde collega's die verslaglegging doen van CT-coronaire angiografieën (CTCA's).

Wij hebben geprobeerd een evenwicht te zoeken tussen eenvoud en optimale kwaliteit. Hierin is het natuurlijk van groot belang om samen met de lokale groep beeldvormende specialisten, aanvragers en klinici, lokale afspraken te maken over de werkwijze en de verslaglegging.

De adviezen zijn tot stand gekomen uit de SCCT guidelines for interpretation and reporting of CT coronary angiography (Leipsic 2014), CAD-RADS 2.0 (Cury 2022), eerdere adviezen van de NVVR werkgroep kwaliteit van de sectie cardiovasculaire radiologie en expert opinion van de werkgroepleden.

Door de snelle ontwikkelingen in de radiologische technieken en de CT in het bijzonder, worden deze adviezen in de toekomst regelmatig bijgewerkt (zie ook Onderhoudsplan).

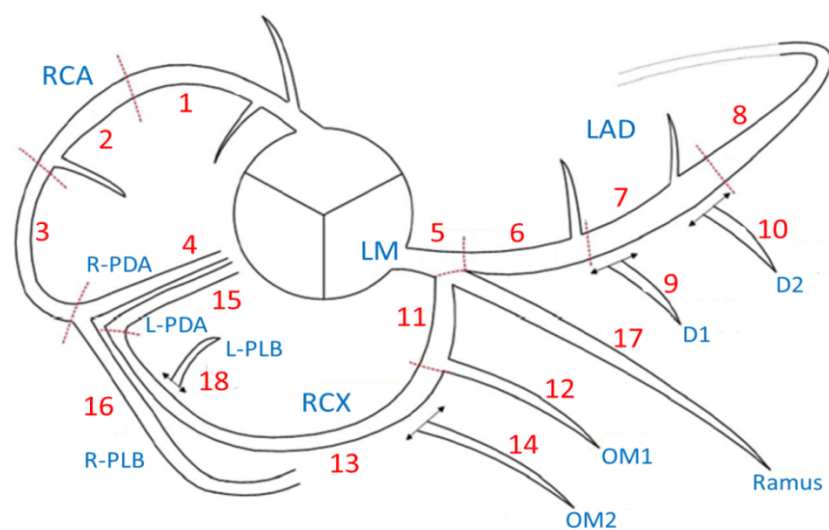
### CT HART

Type scanner	64 -320 slice
Protocol	(Turbo)flash / high pitch, prospectief ECG getriggerd, retrospectieve ECG-gating
<b>Onderzoek ter vergelijking</b>	
Kwaliteit onderzoek	Goed/matig/slecht
Artefacten	Indien aanwezig, graag type beschrijven N.B technische aspecten van de acquisitie kunnen in een standaardverslag worden opgenomen en indien gewenst al standaard ingevuld worden
Coronairen	Dominantie coronair systeem: rechts/links/gebalanceerd
<b>Kwalitatieve analyse</b>	
Calciumscore	Agatston-score met percentielscore (bijv. MESA percentiel).
Per vat: LM, LAD, CX, RCA	Gecalcificeerde, partieel gecalcificeerde of niet-gecalcificeerde plaque: <ul style="list-style-type: none"><li>Afwezig/aanwezig</li><li>AHA segmentensysteem of pragmatisch proximale, mid- of distale coronair arterie (lokaal afspreken)</li><li>Stenose graad volgens CAD-RADS 2.0 (voor coronaire segmenten met diameter <math>\geq 1,5</math> mm):<ul style="list-style-type: none"><li>minimale stenose (1-24%)</li><li>milde stenose (25-49%)</li><li>intermediaire stenose (50-69%)</li><li>ernstige stenose (70-99%)</li><li>totale occlusie (100%)</li></ul></li><li>Vulnerable plaque features (kwetsbare kenmerken):<ul style="list-style-type: none"><li>spotty calcificatie</li><li>positieve remodelering</li><li>napkin ring sign</li><li>hypo-attenuatie plaque</li><li>Indien <math>\geq 2</math> vulnerable plaque features, modifier HRP (high risk plaque) gebruiken volgens CAD-RADS 2.0</li></ul></li><li>Vermeld Modifier I (ischemia) indien CT-FFR of CT perfusie verricht. I+ (CT-FFR <math>&lt; 0.75</math> of CTP+), I- (FFR-CT <math>&gt; 0.8</math> of CTP-) of I+/- (borderline FFR-CT 0.75-0.8 of intermediaire CTP uitslag)</li><li>Overweeg naast de CAD-RADS classificatie ook plaque morfologie en uitbreidbaarheid te beschrijven voor de aanvrager volgens CAD-RADS 2.0 systeem gebruik makend van modifier P, P1(mild) – P4 (uitgebreid). Voor exacte beschrijving van deze modifier P verwijzen wij u naar CAD-RADS 2.0 paper (Cury 2022).</li></ul>

N.B.:

Indien normaal dan kan volstaan worden met een korte benoeming van de anatomie, en hoeft niet elk vat en segment afzonderlijk genoemd te worden.

<b>Myocard</b>	Hypertrofie, dilatatie, crypten en LV densiteitsverschillen
<b>Atria</b>	Dimensies: Normaal, gedilateerd (links en rechts)
<b>Septa</b>	Normaal, crypten, hypertrofie, defect (ASD/PFO/VSD), of niet beoordeelbaar
<b>Kleppen:</b>	Normaal Afwijkend: Verkalkingen, verdikte klepbladen, vegetatie
<b>Pericard:</b>	Vocht met schil diameter/verkalkingen/verdikking
<b>Grote vaten:</b>	Aorta: normaal, afwijkend. Indien afwijkend diameter double oblique gemeten Truncus pulmonalis: normaal, afwijkend Longvenen: normaal, afwijkend Vena cava superior en inferior: normaal, afwijkend
<b>Extracardiale bevindingen:</b>	Benoem relevante thoracale nevenbevindingen inclusief een advies voor verwijzing of follow-up onderzoek.
<b>Conclusie:</b>	Korte opsomming van: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scankwaliteit indien beperkt en reden daarvan</li> <li>• Beschrijving meest relevante stenosen, ernst, aard en lokalisatie</li> <li>• CAD-RADS 2.0 score inclusief modifier(s) (indien van toepassing)</li> <li>• Relevante nevenbevindingen</li> </ul>

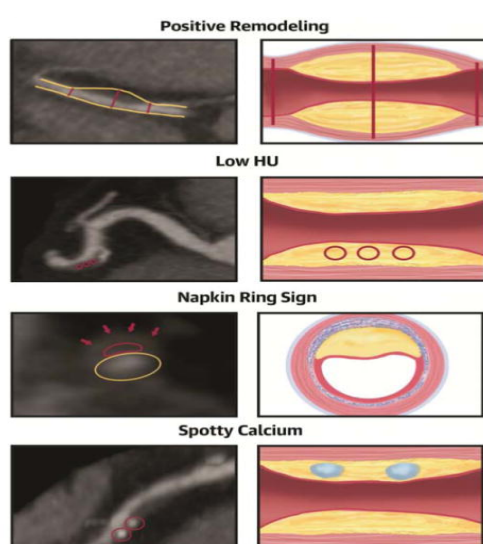


FIGUUR 1: CORONAIR SEGMENTEN (BRON: LEIPSIC 2014)

TABEL 1: CAD-RADS CATEGORIEËN (BRON: VERTAALD VANUIT CURY 2022)

Score	Stenose	Interpretatie	Vervolgonderzoek
0	0%	Geen coronairlijden	Geen
1	1-24%	Minimale stenose	Geen
2	25-49%	Milde stenose	Geen
3	50-69%	Intermediaire stenose	Overweeg functionele beeldvorming / ischemie detectie
4A	Eén of twee vaten 70-99%	Ernstige stenose	Overweeg CAG of functionele beeldvorming / ischemie detectie
4B	Hoofdstam stenose >50% of in drie vaten stenosen ≥70%	Ernstige stenose	CAG

5	100%	Chronische totale occlusie	Overweeg CAG, functionele beeldvorming / ischemie detectie of viability imaging middels MRI
N	Niet-diagnostische studie	Obstructief coronairlijden kan niet worden uitgesloten	Aanvullende/alternatieve beeldvorming kan noodzakelijk zijn



FIGUUR 2: HIGH-RISK PLAQUE FEATURES (BRON: PUCHNER 2014)

#### High-risk plaque features

1. **Positive remodeling (verhouding >1.1)**  
Verhouding van de diameter van het buitenste vat op de plaats van de plaque gedeeld door de gemiddelde buitendiameter van het proximale en distale vat.
2. **Low attenuation plaque**  
Gedefinieerd als niet-gecalcificeerde plaque met CT attenuatie van minder dan 30 HU.
3. **“napkin ring sign”,**  
Gedefinieerd als een plaque met een centrale hypodense plaque met hieromheen een relatief hyperdense rand.
4. **Spotty calcium**  
Gedefinieerd als punctate calcificaties (<3 mm) in een plaque.

## Literatuurlijst

- Cury RC, Leipsic J, Abbara S, Achenbach S, Berman D, Bittencourt M, et al. CAD-RADS™ 2.0 – 2022 Coronary Artery Disease-Reporting and Data System. An Expert Consensus Document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT), the American College of Cardiology (ACC), the American College of Radiology (ACR) and the North America Society of Cardiovascular Imaging (NASCI). J. Cardiovasc Comput Tomogr. 2022 Jul 8;S1934-5925(22)00240-4. doi: 10.1016/j.jcct.2022.07.002. Online ahead of print.
- Leipsic J, Abbara S, Achenbach S, Cury R, Earls JP, Mancini GJ, et al. SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee. J Cardiovasc Comput Tomogr. 2014;8(5):342-58. Epub 20140724. doi: 10.1016/j.jcct.2014.07.003. PubMed PMID: 25301040.
- Puchner SB, Liu T, Mayrhofer T, Truong QA, Lee H, Fleg JL, et al. High-risk plaque detected on coronary computed tomography angiography predicts acute coronary syndromes independent of significant stenosis in acute chest pain: results from the ROMICAT-II trial. J Am Coll Cardiol. 2014;64(7):684-92. doi: 10.1016/j.jacc.2014.05.039. PubMed PMID: 25125300.
- Radiologyassistant.nl, Celeng C, Takx R, Smithuis R, Leiner T. Coronary Artery Disease – Reporting and Data system. Link: <https://radiologyassistant.nl/cardiovascular/cad-rads/coronary-artery-disease-reporting-and-data-system> Laatst bekeken op 14-12-2021.



## Onderhoudsplan

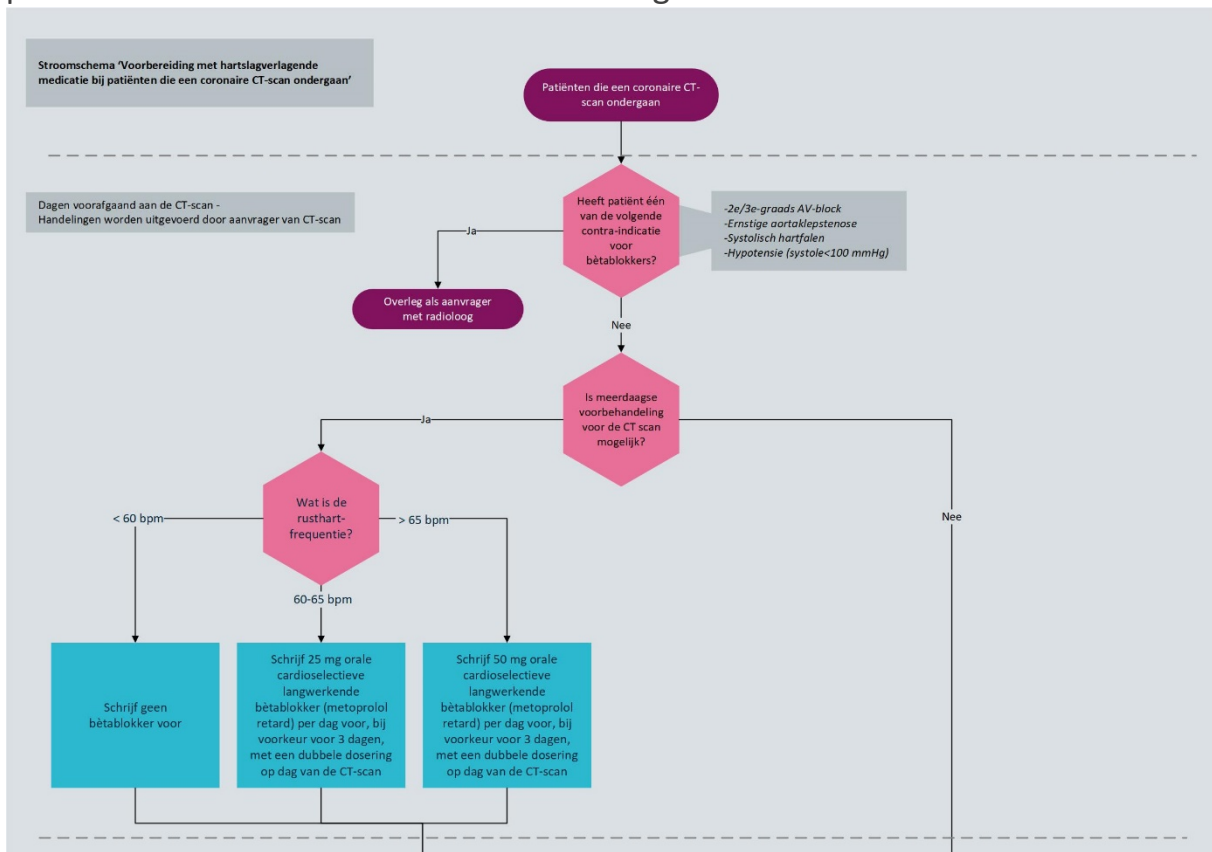
Het document zal in principe de gebruikelijke onderhoudscyclus zoals deze geldt voor alle SKMS richtlijnen en documenten ondergaan. Momenteel is de precieze invulling hiervan ook in breder verband binnen de NVvR een punt dat onderzocht wordt.

Het onderhoudsplan voorziet in een tweejaarlijkse check of de documenten nog up-to-date zijn door één of meerdere leden van de originele werkgroep. De NVvR ziet erop toe dat deze check tijdig plaatsvindt. Indien blijkt dat er grote veranderingen zijn die een update noodzakelijk maken zal dit als een opmerking bij het document online gepubliceerd worden.

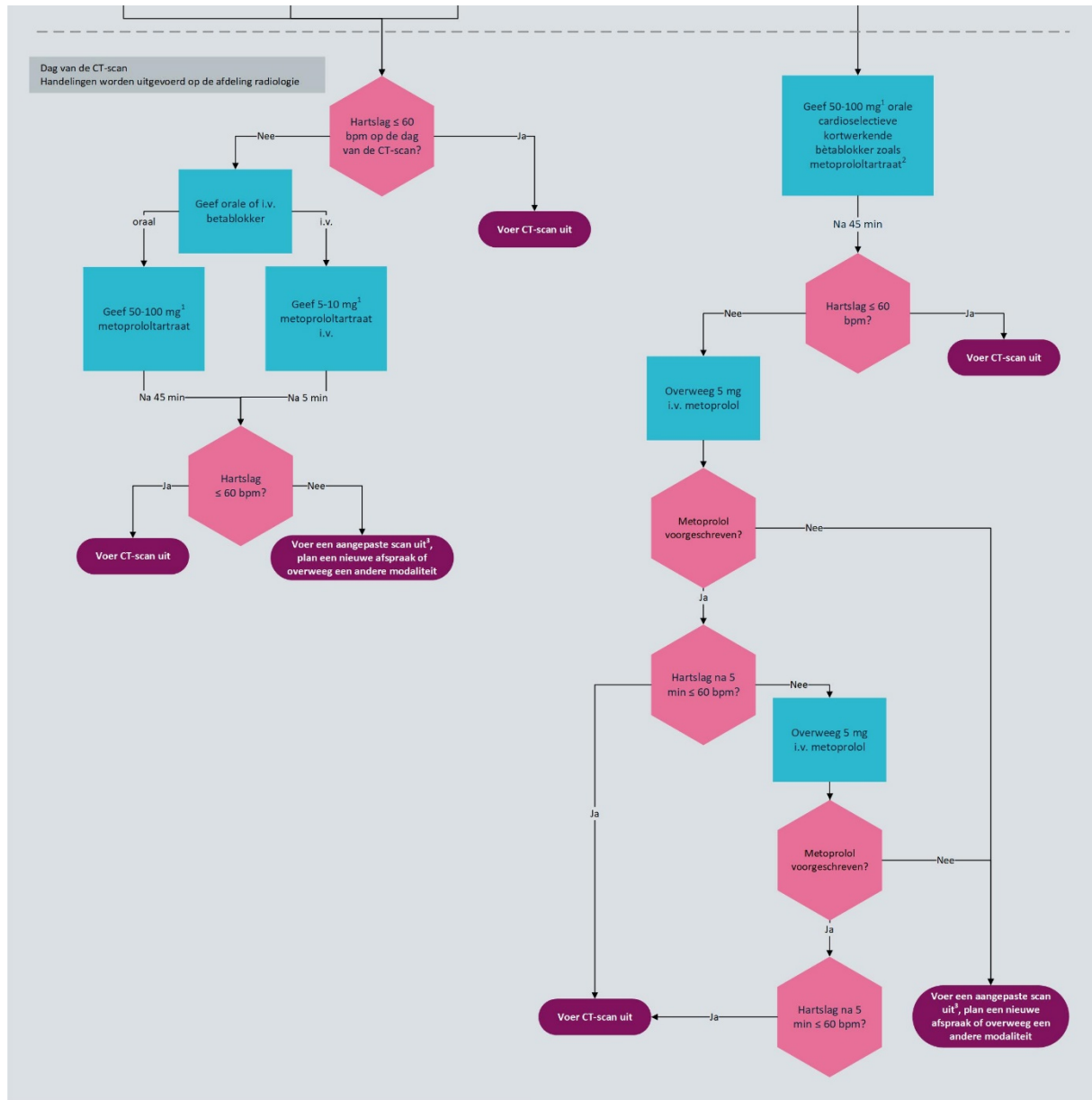
Vervolgens kan in een vervolgproject het document geüpdatet worden. Hiervoor is echter wel financiering noodzakelijk en zal derhalve een nieuwe aanvraag voor de SKMS-gelden gedaan worden.

# Bijlagen

## Bijlage 1: Stroomschema 'Vorbereiding met hartslagverlagende mediatie bij patiënten die een coronaire CT-scan ondergaan'



Vervolg op volgende pagina



**Voetnoten:**

1. Dosering afhankelijk van rusthartfrequentie, bloeddruk en postuur
2. Afhankelijk van de lokale situatie kan gekozen worden om direct over te gaan op i.v. bètablokker
3. Indien de streefhartfrequentie niet wordt bereikt, dan kan gekozen worden voor een prospectieve ECG-triggered scan in systole, ECG-padding met zowel diastolische en systolische opnamen of een retrospectieve ECG-gated scan, of een nieuwe scan inplannen met een uitgebreidere voorbereiding.

**Afkortingen:**

i.v. Intraveneus



Nederlandse Vereniging voor  
**Radiologie**

Initiatiefnemende  
vereniging

NB1: Dit stroomschema hoort bij het 'voorbereidingsprotocol' van het project 'Coronaire CT-scans: uniformering van voorbereiding tot verslaglegging'. Zie de tekst van het Voorbereidingsprotocol voor meer informatie.  
NB2: Betrek de patiënt bij de besluitvorming.



Federatie  
**Medisch  
Specialisten**

Kennisinstituut van de  
Federatie Medisch  
Specialisten

©2022 Versie 2 (21-10-2022)

## Bijlage 2: Literatuuronderzoek Voorbereiding met hartslagverlagende medicatie voor coronaire CT-scan

### **Uitgangsvraag**

Wat is de meest optimale voorbereiding voor een patiënt op een CT-coronaire ten aanzien van hartslagverlagende medicatie (bètablokkers, timing en wijze van toediening)?

### **Inleiding**

Bij patiënten met een lage verdenking op een coronaire vernauwing is het mogelijk om non-invasieve diagnostiek toe te passen middels een computed tomography (CT)-scan. Voor deze scan is het van belang dat patiënten een lage en stabiele hartslag hebben. Hiervoor wordt medicatie gebruikt in de vorm van bètablokkers. Er is echter veel praktijkvariatie in welke medicatie de patiënten ontvangen, de dosering en ook in de wijze van toediening. Het is echter onduidelijk wat de optimale (medicamenteuze) voorbereiding is voor een patiënt die een coronaire CT-scan ondergaat.

### **Search and select**

A systematic review of the literature was performed to answer the following question: What is the optimal preparation for heart rate (HR) control (betablockers, timing and method of administration) for a patient undergoing a coronary CT scan?

- P: patients undergoing a coronary CT-scan
- I: heart rate control protocols with betablockers
- C: other preparation protocols
- O: image quality, complications

### Relevant outcome measures

The guideline development group considered image quality and complications as a critical outcome measure for decision making.

A priori, the working group did not define the outcome measures listed above but used the definitions used in the studies.

- Image quality: different definitions of image quality were used but were all based on how evaluable the images were. Several studies used the American Heart Association classification from excellent quality to not interpretable.
- Complications: different definitions of complications were studied, mostly included were bradycardia, visual symptoms, hypotension, second-degree AV block, headache.

### Search and select (Methods)

The databases Medline (via OVID), Embase (via Embase.com), GIN (via guidelines.ebportal.com and TRIP-database (via tripdatabase.com) were searched with relevant search terms until 27-10-2020. The detailed search strategy is depicted under the tab Methods. The systematic literature search resulted in 283 hits. Studies were selected based on the following criteria: randomized controlled trials and systematic reviews of RCTs including patients undergoing a coronary CT-scan comparing different preparation protocols. During study selection, besides papers comparing betablocker protocols, the working group decided to also include papers comparing ivabradine protocols with other preparation protocols. 39 studies were initially selected based on title and abstract screening. After reading the full text, 25 studies were excluded (see the table with reasons for exclusion under the tab Methods), and fourteen studies were included.

### Results

Fourteen studies were included in the analysis of the literature. Important study characteristics and results are summarized in the evidence tables. The assessment of the risk of bias is summarized in the risk of bias tables.

### **Summary of literature**

The summary of the literature is structured by papers focusing on metoprolol, ivabradine, both metoprolol and ivabradine, or other preparation protocols.

### Metoprolol

Four RCTs (Rochitte 2012, Maurovich-Horvat 2015, Sheta 2017, Yamazaki 2020) focused on preparation protocols with metoprolol before the coronary CT scan. Three of those focused on iv administration of metoprolol, while one focused on oral metoprolol with the addition of a bisoprolol patch. One study reported on image quality, three studies reported on complications.

Rochitte (2012) performed an RCT comparing IV metoprolol with IV diltiazem in 50 patients undergoing a coronary CT scan. Overall, the patients were  $57.8 \pm 6.7$  years old, 38 (76%) were male. 25 patients were included in the intervention group and 25 patients were included in the control group. Patients in the intervention group received IV metoprolol in 5 mg doses until HR  $\leq 60$  bpm or until the maximum dose of 15 mg was reached. Patients in the control group received 0.25 mg/kg IV diltiazem in 2 minutes until HR  $\leq 60$  bpm or an additional dose of 0.35 mg/kg was administered. The CT scan was performed using a 64-slice CT scanner (Toshiba Aquilion 64). The outcome assessed in this study was complications.

Maurovich-Horvat (2015) performed an RCT comparing IV esmolol with IV metoprolol in 412 patients undergoing a coronary CT scan. Upon arrival, patients received 50 mg oral metoprolol if HR  $> 65$  bpm or 100 mg oral metoprolol if HR  $\geq 80$  bpm. If after 60 minutes the HR was still  $> 65$  bpm, patients were randomized to receive IV esmolol or metoprolol. 204 patients were included in the intervention group (age  $56.9 \pm 10.8$  years, 49% males), 208 patients were included in the control group (age  $57.6 \pm 12.2$  years, 54% males). Patients in the intervention group received diluted esmolol (to 500 mg/10 mL) 100 mg, 200 mg, and 200 mg doses every 3 minutes until HR  $\leq 65$  bpm or the maximum dose of 500 mg was reached. Patients in the control group received 5 mg doses every 3 minutes until HR  $\leq 65$  bpm or the maximum dose of 20 mg was reached. The CT scan was performed using a 256-slice CT scanner (Philips Brilliance iCT 256). The outcome assessed in this study was complications.

Sheta (2017) performed an RCT comparing IV metoprolol with no beta blockade in 140 patients undergoing a coronary CT scan. 73 patients were randomized to the intervention group, however, only 64 patients were included in the analysis (age  $59 \pm 10$  years, 50% males). 67 patients were randomized to the control group, however, only 51 patients were included in the analysis (age  $59 \pm 11$  years, 35% males). Patients in the intervention group received IV metoprolol until HR  $< 60$  bpm. Patients in the control group received no IV beta blockade. The CT scan was performed using a 64-slice CT scanner (GE Discovery HD 750). The outcome assessed in this study was image quality.

Yamazaki (2020) performed an RCT comparing standard of care with an additional transdermal patch with bisoprolol with standard of care in 63 patients undergoing a coronary CT scan. 30 patients were included in the intervention group (age  $74.5 \pm 10.1$  years, 60% males), 33 patients were included in the control group (age  $74.6 \pm 10.8$  years, 64% males). Patients in the intervention group were instructed to apply the transdermal patch with 8 mg bisoprolol at bedtime on the evening before the CT scan. Both the intervention and control group were treated as usual upon arrival. Patients with an HR  $> 60$  bpm received oral metoprolol depending on their initial HR. If HR  $\leq 60$  bpm was not achieved, IV landiolol (0.125 mg/kg) was also administered. The CT scan was performed using a 64-slice CT scanner (GE Revolution EVO 64). The outcome assessed in this study was complications.

### Ivabradine

Five RCTs (Guaricci 2012, Guaricci 2013, Celik 2014a, Cademartiti 2015, Kacijan 2017) focused on preparation protocols with ivabradine before the coronary CT scan. Three of those focused on oral administration of ivabradine, one focused on i.v. administration of ivabradine and one compared oral with iv administration of ivabradine. One study reported on image quality, all five studies reported on complications.

Guaricci (2012) performed an RCT comparing no additional medication for HR control with chronic beta blockade and ivabradine. Patients on chronic beta blockade (n=64) and patients without chronic beta blockade (n=59) were separately randomized to oral ivabradine or no oral ivabradine. This created four groups: 1) chronic beta blockade; 2) oral ivabradine; 3) chronic beta blockade with oral ivabradine; 4) no additional medication for HR control in 123 patients undergoing a coronary CT scan. 31 patients were included in the only chronic beta blockade group (age  $64 \pm 9$  years, 68% males), 30 patients were included in the only oral ivabradine group (age  $60 \pm 8$  years, 60% males), 33 patients were included in the chronic beta blockade plus oral ivabradine group (age

60 ± 10 years, 61% males), and 29 patients were included in the control group (age 63 ± 14 years, 75% males). Patients on chronic beta blockade were shifted to atenolol 50 mg twice a day for five days prior to the CT scan. Patients in the oral ivabradine group or the chronic beta blockade plus oral ivabradine group received 5 mg ivabradine twice a day for five days prior to the CT scan. Patients in the control group received no HR reducing medication prior to the day of the CT scan. In the CT room, patients with an HR > 65 bpm or when HR was not consistently <65 bpm received IV atenolol (5-10 mg). The CT scan was performed using a 64-slice CT scanner (Toshiba Aquilion 64). The outcomes assessed in this study was complications.

Guaricci (2013) performed an RCT comparing 7.5 mg oral ivabradine with 5 mg oral ivabradine and no ivabradine in 259 patients with or without chronic beta blockade undergoing a coronary CT scan. Patients on chronic beta blockade (n=114) and patients without chronic beta blockade (n=145) were separately randomized to 7.5 mg, 5 mg or no oral ivabradine. 38 patients were included in the only chronic beta blockade group (age 63.9 ± 8.8 years, 63% males), 48 patients were included in the oral 5 mg ivabradine group (age 58.6 ± 7.8 years, 60% males), and 48 patients were included in the oral 7.5 mg group (age 59.6 ± 10.1 years, 44% males), 38 patients were included in the chronic beta blockade plus oral 5 mg ivabradine group (age 59.6 ± 10.9 years, 63% males), 38 patients were included in the chronic blockade plus oral 7.5 mg ivabradine group (age 58.1 ± 9.9 years, 53% males), and 49 patients were included in the control group (age 61.6 ± 12.4 years, 71% males). Patients on chronic beta blockade were shifted to atenolol 50 mg twice a day for five days prior to the CT scan. Patients in the oral 5 mg or 7.5 mg ivabradine groups received respectively 5 mg and 7.5 mg ivabradine twice a day for five days prior to the CT scan. Patients in the control group received no HR reducing medication prior to the day of the CT scan. In the CT room, patients with an HR > 60 bpm or when HR was not consistently <60 bpm received IV atenolol (5-15 mg). The CT scan was performed using a 64-slice CT scanner (Toshiba Aquilion 64). The outcome assessed in this study was complications.

Celik (2014b) performed an RCT comparing three different administrations of oral ivabradine in 192 patients undergoing a coronary CT scan. 64 patients were included in the 15 mg-intervention group (age 50 ± 8 years, 63% males), 64 patients were included in the 10 mg-intervention group (age 51 ± 8 years, 70% males), and 64 patients were included in the 5 mg-intervention group (age 51 ± 9 years, 55% males). Patients in the 15 mg-intervention group received 15 mg of oral ivabradine 2,5 hours prior to the CT scan. Patients in the 10 mg-intervention group received 10 mg of oral ivabradine 2,5 hours prior to the CT scan. Patients in the 5 mg-intervention group received 5 mg or oral ivabradine twice daily for 4 days prior to the CT scan and a last pill on the morning of the CT scan. The CT scan was performed using a dual-source CT scanner (Siemens Definition Flash). Outcomes assessed in this study were image quality and complications.

Cademartiti (2015) performed an RCT comparing IV ivabradine with a placebo in 370 patients undergoing a coronary CT scan. 252 patients were included in the intervention group (age 61.8 ± 10.6 years, 55% males), 118 patients were included in the control group (age 61.0 ± 10.8 years, 53% males). Patients in the intervention group received either 10 mg iv ivabradine if baseline HR was 70 to 79 bpm or 15 mg iv ivabradine if baseline HR was ≥ 80 bpm. Patients in the control group received either 10 or 15 mg of an unspecified iv placebo bolus. The CT scan was performed using a several multidetector systems capable of acquiring at least 64 slices simultaneously. The outcome assessed in this study was complications.

Kacijan (2017) performed an RCT comparing oral ivabradine with standard of care in 101 patients undergoing a coronary CT-scan. 50 patients were included in the intervention group (age 61 ± 13 years, 52% males), 51 patients were included in the control group (age 59 ± 13 years, 57% males). Patients in the intervention group received oral ivabradine for 7 days prior to the CT-scan according to their baseline HR and age. Patients with an HR ≥ 70 bpm and ≤ 75 years old received 7.5 mg ivabradine, patients with an HR ≥ 70 bpm and >75 years old or an HR 60-69 bpm and ≤ 75 years old received 5 mg ivabradine. Patients with an HR 60-69 bpm and > 75 years old received 2.5 mg ivabradine. Patients in the control group received no additional medication to their usual therapy. All patients with an HR > 60 bpm on the day of the CT scan received 25-100 mg oral metoprolol. If after one hour the HR was still > 60 bpm, 5 mg IV metoprolol was administered every two minutes until HR ≤ 60 bpm, or the maximum dose of 25 mg metoprolol was received. If HR was still > 60 bpm, patients received 0.25 mg oral alprazolam. The CT scan was performed using a 128-slice CT scanner (Siemens Biograph mCT). The outcomes assessed in this study was complications.

### Metoprolol vs. Ivabradine

Two RCTs (Pichler 2012, Celik 2014b) focused on preparation protocols comparing metoprolol with ivabradine before the coronary CT scan. Pichler (2012) compared oral administration of ivabradine with oral administration of metoprolol, while Celik (2014b) compared oral administration of ivabradine with iv administration of metoprolol. Pichler (2012) reported on complications, while Celik (2014b) reported on both image quality and complications.

Pichler (2012) performed an RCT comparing oral ivabradine with oral metoprolol in 120 patients undergoing a coronary CT scan. 60 patients were included in the ivabradine group (age  $55 \pm 13$  years, 60% males), 60 patients were included in the metoprolol group (age  $60 \pm 12$  years, 57% males). Patients in the ivabradine group received 15 mg oral ivabradine on the day of the CT scan. Patients in the metoprolol group received 50 mg oral metoprolol on the day of the CT scan. All patients were instructed to refrain from activities that may alter cardiac parameters or intestinal absorption. The CT scan was performed using a 64-slice single-source CT scanner (Siemens Somatom Sensation 64) or dual-source CT scanner (Siemens Somatom Definition). The outcome assessed in this study was complications.

Celik (2014a) performed an RCT comparing oral ivabradine with iv metoprolol in 125 patients undergoing a coronary CT scan. 63 patients were included in the ivabradine group (age  $58 \pm 6$  years, 60% males), 62 patients were included in the metoprolol group (age  $59 \pm 5$  years, 65% males). Patients in the ivabradine group received 15 mg of oral ivabradine approximately two hours before the CT scan and were instructed to refrain from activities that could alter cardiac parameters or gastrointestinal function. Patients in the metoprolol group received 5 mg of iv metoprolol and if after 5-10 min the HR was  $>65$  bpm, an additional 5 mg iv metoprolol was administered 5-10 min prior to the CT scan. The CT scan was performed using a dual-source CT scanner (Siemens Definition Flash). Outcomes assessed in this study were image quality and complications.

### Other comparisons

Three RCTs (Achenbach 2008, Sato 2009, Hirano 2014) reported on other preparation protocols before a coronary CT scan.

Achenbach (2008) performed an RCT comparing oral nonretarded atenolol with no additional medication for HR control in 200 patients undergoing a coronary CT scan. Patients were firstly randomized to a single- or dual-source CT-scan group resulting in two groups of 100 patients. Within each group of 100 patients, further randomization to intervention or control was performed. 55 patients were included in the single-source CT intervention group (age  $65 \pm 11$  years, 42% males), 47 patients were included in the dual-source CT intervention group (age  $63 \pm 11$  years, 62% males). 45 patients were included in the single-source CT control group (age  $65 \pm 11$  years, 38% males), 53 patients were included in the dual-source CT control group (age  $61 \pm 11$  years, 66% males). Patients in the intervention group received 100 mg oral nonretarded atenolol 45 min before the CT scan if their HR  $\geq 60$  beats per minute (bpm) at rest. If on the CT table in deep inspiration the HR was still  $> 60$  bpm, they received repeated doses of 5 mg metoprolol IV in 2-min intervals until HR  $\leq 60$  bpm or a total of 20 mg had been injected. The CT scan was performed using 64-slice single or dual-source CT-scan (Siemens Sensation 64 and Siemens Definition). The outcome assessed in this study was image quality.

Hirano (2014) performed an RCT comparing IV landiolol hydrochloride with a placebo in 258 patients undergoing a coronary CT scan. 130 patients were included in the intervention group (age  $65.0 \pm 11.1$  years, 62% males), 128 patients were included in the control group (age  $64.4 \pm 11.2$  years, 62% males). Patients in the intervention group received 0.125 mg/kg IV landiolol hydrochloride. Patients in the control group received IV physiological saline (placebo).

The CT scan was performed using 64-slice CT scanners (Siemens SOMATOM Sensation Cardiac 64, Toshiba Aquilion 64, GE Lightspeed VCT and Philips Brilliance 64) and a 320-slice CT scanner (Toshiba Aquilion ONE). Outcomes assessed in this study were image quality and complications.

Sato (2009) performed an RCT comparing coadministration of IV beta blocker with sublingual nitroglycerine with only IV beta blocker in 60 patients undergoing a coronary CT scan. 30 patients were included in the intervention group (age  $65.3 \pm 9.9$  years, 53% males) and 30 patients were included in the control group (age  $66.3 \pm 7.8$  years, 57% males). Patients in the intervention group received 0.032 mg/kg/min IV landiolol hydrochloride and 0.3 mg

sublingual nitroglycerine. Patients in the control group received only 0.032 mg/kg/min IV landiolol hydrochloride. The CT scan was performed using a 16-slice CT scanner (Siemens SOMATOM 16). Outcomes assessed in this study were image quality and complications.

### **Results per outcome measure**

#### *Image quality*

Six RCTs (Achenbach 2008, Celik 2014a, Celik 2014b, Hirano 2014, Sato 2009, Sheta 2017) assessed image quality of the coronary CT scan. The studies assessed different beta-blocker and ivabradine preparation protocols and were therefore not comparable. Overall, the intervention groups in the studies seem to have better image quality. All these protocols were focused on lowering HR which could result in better image quality.

One study concluded that in single-source CT scanners, the intervention group did have higher quality images, but in dual-source CT scanners, image quality was high in both the intervention and the control group (Achenbach 2008). A study comparing oral ivabradine with IV metoprolol only found lower rates of poor or fair image quality for patients in the ivabradine group (Celik 2014a). In a study comparing three different protocols with oral ivabradine found lower unacceptable image quality in the group on a single dose of 10 mg oral ivabradine than in the group on a single dose of 15 mg oral ivabradine or the group on two times 5 mg oral ivabradine for 5 days (Celik 2014b). One study found higher image quality for patients on IV landiolol hydrochloride compared to a placebo group (Hirano 2014). Another study found higher image quality for the group on IV landiolol hydrochloride combined with sublingual nitroglycerine compared to IV landiolol hydrochloride alone (Sato 2009). A study comparing IV metoprolol with no betablockers found higher image quality for the IV metoprolol group (Sheta 2017).

#### *Complications*

Twelve RCTs (Cademartiti 2015, Celik 2014a, Celik 2014b, Guaricci 2012, Guaricci 2013, Hirano 2014, Kacijan 2017, Maurovich-Horvat 2015, Pichler 2012, Rochitte 2012, Sato 2009, Yamazaki 2020) assessed complications of preparation protocols for the coronary CT scan. The studies assessed different betablocker and ivabradine preparation protocols and were therefore not comparable. Overall few complications were found, however, several studies should be mentioned. One study found 19% (n=49/252) complications, including phosphenes, blurred vision, bradycardia, and AV block first degree, noted in the IV ivabradine group compared to 7% (n=8) complications in IV placebo group (Cademartiti 2015). Another study found 33% (n=21/63) asymptomatic bradycardia in the oral ivabradine group compared to 19% (n=12/620) in the IV metoprolol group (Celik 2014a). A study comparing oral ivabradine with standard care found 14% (n=7/50) complications, including ocular and cardiovascular adverse events, in the ivabradine group compared to 0% (n=0/51) in the standard care group (Kacijan 2017). A study comparing IV esmolol with IV metoprolol found 9% (n=19/204) hypotension (BP<100 mg) directly after the scan in the esmolol group compared to 4% (n=8/208) the metoprolol group.

### **Conclusions**

Overall, the intervention groups in the studies seem to have better image quality. However, the preparation protocols used in the different studies were too diverse for comparison. Furthermore, low complication rates were found, although some suggest higher complication rates for ivabradine preparation protocols compared to placebo, metoprolol, or standard care protocols.

### **Literature**

Achenbach S, Ropers U, Kuettner A, Anders K, Pflederer T, Komatsu S, et al. Randomized comparison of 64-slice single- and dual-source computed tomography coronary angiography for the detection of coronary artery disease. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2008;1(2):177-86. Epub 2009/04/10. doi: 10.1016/j.jcmg.2007.11.006. PubMed PMID: 19356426.

Cademartiri F, Garot J, Tendra M, Zamorano JL. Intravenous ivabradine for control of heart rate during coronary CT angiography: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2015;9(4):286-94. Epub 2015/06/20. doi: 10.1016/j.jcct.2015.04.005. PubMed PMID: 26088378.

Celik O, Atasoy MM, Ertürk M, Yalçın AA, Aksu HU, Diker M, et al. Single dose ivabradine versus intravenous metoprolol for heart rate reduction before coronary computed tomography angiography (CTCA) in patients receiving long-term calcium channel-blocker therapy. *Acta Radiol*. 2014a;55(6):676-81. Epub 2013/09/21. doi: 10.1177/0284185113505276. PubMed PMID: 24052362.



- Celik O, Atasoy MM, Erturk M, Yalcin AA, Aksu HU, Diker M, et al. Comparison of different strategies of ivabradine premedication for heart rate reduction before coronary computed tomography angiography. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2014b;8(1):77-82. Epub 2014/03/04. doi: 10.1016/j.jcct.2013.12.005. PubMed PMID: 24582046.
- Guaricci AI, Maffei E, Brunetti ND, Montrone D, Di Biase L, Tedeschi C, et al. Heart rate control with oral ivabradine in computed tomography coronary angiography: a randomized comparison of 7.5 mg vs 5 mg regimen. *Int J Cardiol.* 2013;168(1):362-8. Epub 2012/10/16. doi: 10.1016/j.ijcard.2012.09.041. PubMed PMID: 23063141.
- Guaricci AI, Schuijff JD, Cademartiri F, Brunetti ND, Montrone D, Maffei E, et al. Incremental value and safety of oral ivabradine for heart rate reduction in computed tomography coronary angiography. *Int J Cardiol.* 2012;156(1):28-33. Epub 2010/11/26. doi: 10.1016/j.ijcard.2010.10.035. PubMed PMID: 21095627.
- Hirano M, Yamashina A, Hara K, Ikari Y, Jinzaki M, Iino M, et al. A randomized, double-blind, placebo-controlled, phase III study of the short-acting  $\beta$ 1-adrenergic receptor blocker landiolol hydrochloride for coronary computed tomography angiography in Japanese patients with suspected ischemic cardiac disease. *Clin Drug Investig.* 2014;34(1):53-62. Epub 2013/11/01. doi: 10.1007/s40261-013-0149-y. PubMed PMID: 24174275; PubMed Central PMCID: PMC3889825.
- Kacijan B, Novak Z, Jug B, Dolenc Novak M, Vrtovec M, Gužič Salobir B. Heart-Rate Reduction With Adjusted-Dose Ivabradine in Patients Undergoing Coronary Computed Tomographic Angiography: A Randomized Trial. *J Comput Assist Tomogr.* 2017;41(3):360-3. Epub 2016/11/20. doi: 10.1097/rct.0000000000000556. PubMed PMID: 27861199.
- Maurovich-Horvat P, Károlyi M, Horváth T, Szilveszter B, Bartykowszki A, Jermendy Á L, et al. Esmolol is noninferior to metoprolol in achieving a target heart rate of 65 beats/min in patients referred to coronary CT angiography: a randomized controlled clinical trial. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2015;9(2):139-45. Epub 2015/03/31. doi: 10.1016/j.jcct.2015.02.001. PubMed PMID: 25819196.
- Pichler P, Pichler-Cetin E, Vertesich M, Mendel H, Sochor H, Dock W, et al. Ivabradine versus metoprolol for heart rate reduction before coronary computed tomography angiography. *Am J Cardiol.* 2012;109(2):169-73. Epub 2011/10/21. doi: 10.1016/j.amjcard.2011.08.025. PubMed PMID: 22011557.
- Rochitte CE, Azevedo GS, Shiozaki AA, Azevedo CF, Kalil Filho R. Diltiazem as an alternative to beta-blocker in coronary artery computed tomography angiography. *Arq Bras Cardiol.* 2012;99(2):706-13. Epub 2012/06/28. doi: 10.1590/s0066-782x2012005000059. PubMed PMID: 22735866.
- Sato K, Isobe S, Sugiura K, Mimura T, Yotsudake Y, Meno C, et al. Optimal starting time of acquisition and feasibility of complementary administration of nitroglycerin with intravenous beta-blocker in multislice computed tomography. *J Comput Assist Tomogr.* 2009;33(2):193-8. Epub 2009/04/07. doi: 10.1097/RCT.0b013e31817f455a. PubMed PMID: 19346844.
- Sheta HM, Egstrup K, Husic M, Heinsen LJ, Nieman K, Lambrechtsen J. Impact of a motion correction algorithm on image quality in patients undergoing CT angiography: A randomized controlled trial. *Clin Imaging.* 2017;42:1-6. Epub 2016/11/14. doi: 10.1016/j.clinimag.2016.11.002. PubMed PMID: 27838576.
- Yamazaki D, Shimura Y, Enjoji Y, Nishinaga M, Kanmatuse K, Endo M. Pilot study of bisoprolol 8mg transdermal patch at bedtime before coronary computed tomography angiography. *J Cardiol.* 2020;75(4):394-9. Epub 2019/10/20. doi: 10.1016/j.jjcc.2019.09.013. PubMed PMID: 31627998.

## Bijlage 3: Folder 'Patiënteninformatie: CT-scan van het hart'

Uw behandelend arts / cardioloog heeft u verwezen voor een CT-scan van het hart. In deze folder krijgt u informatie over het onderzoek en welke voorbereidingen van belang zijn.

### **Wat is een CT-scan?**

Een CT-scan is een onderzoeksmethode waarbij met röntgenstralen het lichaam in beeld kan worden gebracht. Bij een CT-scan werken we met dezelfde röntgenstralen als bij een 'gewone' röntgenfoto. Het verschil met een röntgenfoto is dat voor een CT-scan in korte tijd vele foto's uit verschillende richtingen rondom de patiënt worden gemaakt. Hiermee kan een 3D dwarsdoorsnede van het hart en de bloedvaten worden berekend.

### **Vorbereiding**

#### Rustige hartslag

Een normale hartslag in rust ligt tussen de 60-100 slagen per minuut. Voor een goede CT-scan van het hart is een rustige hartslag nodig. Dat wil zeggen dat de hartslag dan ongeveer 60 slagen per minuut is. Als uw hartslag te hoog is geven we u een medicijn (bètablokker) om uw hartslag omlaag te brengen. Indien u hierover vragen heeft kunt u terecht bij uw behandelend arts / cardioloog.

#### Eten en drinken

Cafeïne zorgt voor een verhoging van de hartslag. Daarom mag u vanaf 24 uur voor het onderzoek geen dranken of voedsel meer nuttigen waar cafeïne in zit zoals:

- koffie
- thee
- energydranken
- cola
- chocolade
- banaan
- dit geldt ook voor medicatie met cafeïne of coffeine (bijvoorbeeld paracetamol/coffeine tabletten).
- nuttig geen alcohol in de 24 uur voor het onderzoek.

#### Contrastvloeistof

Voor het toedienen van contrastvloeistof is het belangrijk om te weten of uw nierfunctie goed is. Om dit te bepalen, vraagt uw behandelend arts een bloedonderzoek aan.

Daarnaast is het belangrijk om te weten of u ooit een allergische reactie gehad heeft op contrastvloeistof. Dit is belangrijk om aan te geven bij uw behandelend arts en tijdens de scan. Als u niet weet of u ooit een allergische reactie heeft gehad, geef dit dan ook aan.

#### Zwangerschap

Als u zwanger bent, kan het onderzoek niet plaatsvinden. Het onderzoek kan schadelijk zijn voor het ongeboren kind. Bent u zwanger of vermoedt u dit, neem dan contact op met de afdeling Radiologie en meld dit bij uw behandelend arts / cardioloog.

#### Huid

Gebruik geen bodylotion voorafgaand aan het onderzoek in verband met het plakken van de ECG stickers.

### **Het onderzoek**

#### Controle van hartslag en bloeddruk

De laborant meet uw bloeddruk en hartslag. Voor het onderzoek is een rustige hartslag van ongeveer 60 slagen per minuut nodig. Een normale hartslag in rust zit tussen de 60 en 100 slagen per minuut. Indien nodig wordt een medicijn toegediend om uw hartslag tijdelijk te verlagen tot ongeveer 60 slagen per minuut.

#### Infuus

Om bloedvaten en organen beter zichtbaar te maken wordt gebruikgemaakt van contrastvloeistof. Om u deze vloeistof toe te dienen, wordt er door de laborant(e) een infuus geprikt. Tijdens het onderzoek krijgt u door dit infuus contrastvloeistof toegediend.

### CT-scanner

U neemt plaats op de tafel van de CT-scanner. Om bewogen beelden te voorkomen, is het belangrijk dat u stil blijft liggen. U kunt samen met degene die de scan maakt afspreken wat u moet doen als u onverwachts toch een beweging moet maken, zoals bij een hoestbui of jeuk, of als u een paniekaanval krijgt. Bij het inspuiten kunt u door uw hele lichaam een warm gevoel krijgen. Dat gevoel verdwijnt na een paar minuten weer. De laborant(e) maakt meerdere scans. Eerst maakt de laborant(e) een overzichtsofname. Vervolgens wordt er een scan zonder en een scan met contrastvloeistof gemaakt. Als u op tafel ligt krijgt u een spray onder de tong om de kransslagaders beter zichtbaar te maken.

### Duur van het onderzoek

In de meeste gevallen duurt het onderzoek in totaal ongeveer 30 minuten, waarvan de scan zelf minder dan 5 minuten.

### **Na het onderzoek**

Neem na het onderzoek niet zelf deel aan het verkeer. Zorg ervoor dat iemand u naar huis kan brengen. Het contrastmiddel dat is ingespoten plast u vanzelf weer uit. Om dit te bespoedigen wordt geadviseerd na het onderzoek goed te drinken (meerdere glazen water).

### **De uitslag**

U krijgt niet gelijk de uitslag. De radioloog beoordeelt de beelden na afloop van het onderzoek. De radioloog maakt een verslag en stuurt dit naar de arts die het onderzoek voor u heeft aangevraagd. Deze arts bespreekt de definitieve uitslag met u.

### **Vragen**

Heeft u nog vragen over het CT-onderzoek? Neem dan gerust contact op met de afdeling Radiologie.

## Bijlage 4: Stralingsdosis

De stralingsdosis die een patiënt ontvangt door een CT-onderzoek is sterk afhankelijk van de patiënt karakteristieken en de instellingen van de CT-scanner. De indicatie voor de CT-scan en de afgebeelde anatomie en/of eventueel benodigde functionele informatie zijn van grote invloed op het gekozen scan protocol en de daarbij behorende stralingsdosis.

De werkgroep heeft geen formele meta-analyse uitgevoerd om de stralingsdosis van een coronaire CT-scan te onderzoeken. Er zijn twee recente wetenschappelijke publicaties waarin de stralingsdosis van een coronaire CT-scan in meerdere centra en meerdere landen geïnventariseerd is. Dit betreft Protection VI studie en een publicatie van de European Society of Radiology (Stocker 2018, Paulo 2020) Op basis van deze bevindingen en ook expert opinion binnen de werkgroep worden de aanbevelingen zoals hieronder toegelicht gedaan.

### **Dosis lengte product (DLP)**

Het DLP is een maat voor de hoeveelheid stralingsdosis die een patiënt ontvangt bij een CT-scan. CT-scanners van alle vendors vermelden het DLP op een overzicht dat automatisch gegenereerd wordt bij het maken van een CT-scan.

Het is belangrijk op te merken dat het totale DLP van een scan alle onderdelen van de acquisitie bevat. Dit betreft dus ook het topogram / planningsopname, eventuele locator series en een calcium score scan direct voorafgaande aan de CTA in dezelfde sessie

Het omrekenen van een DLP naar een stralingsdosis in millisievert kan gedaan worden door gebruik te maken van een conversiefactor. Er is echter in de literatuur discussie over welke conversiefactor hiervoor het meest geschikt is. De werkgroep beveelt daarom aan om bij het monitoren van de stralingsdosis en binnen een centrum uit te gaan van de DLP-waarden. Deze zijn goed onderling te vergelijken.

### **Diagnostic reference level (DRL)**

Het DRL, wordt meestal vastgesteld op het 75<sup>ste</sup> percentiel van de dosis voor een gemiddelde patiëntgrootte voor een bepaalde radiologische procedure. **Het DRL is niet een aanbevolen of gewenste dosis maar een grens waarboven extra onderzoek gedaan moet worden naar de reden van de overschrijding.**

### **Protection VI studie (Stocker 2018)**

In de Protection VI studie zijn data van 61 ziekenhuizen in 32 landen prospectief 4502 patiënten die een cardiale CTA ondergingen gedurende een maand in 2017 beschreven. In 89% van de patiënten was de indicatie voor de CTA-evaluatie van de coronaire arteriën.

Het mediane gewicht van de patiënten was 78 kg, 58% van de patiënten was een man, 9% van de scans werd vervaardigd op een 64 slice CT-systeem en 91% van de scans op een  $\geq 128$  slice systeem en in 78% van de gevallen werd een prospectief ECG- getriggerd protocol gebruikt. Scanners van alle vier de grote vendors (GE, Philips, Siemens en Canon) zijn vertegenwoordigd.

Het gerapporteerde mediane totale dosis lengte product (DLP) bedroeg 246 mGy\*cm voor coronaire CTA-scans, waarbij 79% van de stralingsbelasting van de coronaire CTA afkomstig was en mediaan 195 mGy\*cm met een interkwartielafstand van (110-338 mGy\*cm) bedroeg. Opvallend is de zeer grote (37-voudige) variabiliteit in de mediane DLP tussen ziekenhuizen waarbij de laagste mediane DLP 57 mGy\*cm bedroeg en de hoogste 2090 mGy\*cm. Het DRL wordt op basis van de Protection VI data gezet op 400 mGy\*cm.

### **European Study on Clinical Diagnostic Reference levels for X-ray Medical Imaging (Paulo 2020)**

Deze studie uitgevoerd door de European Society of Radiology had als doel om up-to-date DRL waarden voor verschillende klinische scan indicaties te bepalen aan de hand van een literatuur review van recent gepubliceerde studies en data zoals door nationale organisaties verstrekt.

Er werden elf DRLs voor coronaire cCTA gevonden. De DLP-waarden variëren tussen de 170 mGy\*cm en 1400 mGy\*cm. In een publicatie werd een DRL voor verschillende scan methoden gerapporteerd te weten: prospectieve ECG-triggering zonder padding 170 mGy\*cm, prospectieve ECG-triggering met padding 280 mGy\*cm en prospectieve ECG-triggering met gating 380 mGy\*cm.

Voor de coronaire kalk score werden vier studies gevonden waarbij de DLP varieerde tussen de 51 en 150 mGy\*cm.

#### **Aanbevelingen**

1. Stuur bij elke scan standaard het DLP-overzicht door naar PACS.
2. Bij routinematige scans er zou een DLP van 300 of minder met de scan protocollen zoals door de werkgroep aanbevolen haalbaar moeten zijn voor een coronaire CTA.
3. Voor een CTA van de coronaire arteriën wordt op basis van bovenstaande gegevens een DRL van 400 mGy\*cm door de werkgroep aangehouden.
4. Bekijk met enige regelmaat het DLP-overzicht van coronaire CT-scan zoals in het centrum gemaakt en signaleer bij overschrijdingen van het DRL de reden daarvan.

#### **Referenties**

Paulo G, Damilakis J, Tsapaki V, Schegerer AA, Repussard J, Jaschke W, et al. Diagnostic Reference Levels based on clinical indications in computed tomography: a literature review. *Insights Imaging*. 2020;11(1):96. Epub 20200817. doi: 10.1186/s13244-020-00899-y. PubMed PMID: 32804275; PubMed Central PMCID: PMC7431477.

Stocker TJ, Deseive S, Leipsic J, Hadamitzky M, Chen MY, Rubinshtein R, et al. Reduction in radiation exposure in cardiovascular computed tomography imaging: results from the PROspective multicenter registry on radiaTion dose Estimates of cardiac CT angiOgraphy iN daily practice in 2017 (PROTECTION VI). *Eur Heart J*. 2018;39(41):3715-23. doi: 10.1093/eurheartj/ehy546. PubMed PMID: 30165629; PubMed Central PMCID: PMC6455904.

## Bijlage 5: Literatuuronderzoek Contrastinjectieprotocol bij coronaire CT-scan

### **Uitgangsvraag**

Wat is het optimale contrastinjectieprotocol bij volwassen patiënten die een coronaire CT-scan ondergaan?

### **Inleiding**

Bij patiënten met een lage verdenking op een coronaire vernauwing is het mogelijk om non-invasieve diagnostiek toe te passen middels een computed tomography (CT)-scan. Het is hierbij van belang om het optimale contrastinjectieprotocol te gebruiken waarbij met een zo laag mogelijke hoeveelheid contrast nog wel voldoende beeldkwaliteit kan worden verkregen om een betrouwbare diagnose te stellen. Uit een rondvraag blijkt dat er veel praktijkvariatie in Nederlandse ziekenhuizen is in de contrastinjectieprotocollen. Voor het maken van een generiek scanprotocol voor Nederlandse ziekenhuizen is het van belang een contrastinjectieprotocol op te nemen dat men kan gebruiken bij het maken van een coronaire CT-scan.

### **Search and select**

A systematic review of the literature was performed to answer the following question: Which contrast injection protocols are used for adult patients undergoing a coronary CT-scan?

- P: patients undergoing a coronary CT-scan
- I: different contrast injection protocols including iodine delivery rate, tube voltage (kV) and other relevant protocol parameters
- C: N/A
- O: attenuation (HU), image quality

### Relevant outcome measures

The guideline development group considered attenuation (in Hounsfield Units, HU) as relevant outcome measure for decision making. The link between attenuation, iodine delivery rate (grams of iodine delivered per second, IDR) and tube voltage (in kV) in relation to body weight or BMI was of main importance.

### Search and select (Methods)

The databases Medline (via OVID) and Embase (via Embase.com) were searched with relevant search terms until 04-10-2021. The detailed search strategy is depicted under the tab Methods. The systematic literature search resulted in 326 hits.

Studies were selected based on the following criteria:

- Systematic Reviews, randomized controlled trials, or observational studies;
- Full-text English language publication;
- Adult patient population ( $\geq 18$  years);
- 2+ groups with different contrast injection protocols, describing at least attenuation, IDR and tube voltage.

49 studies were initially selected based on title and abstract screening. After reading the full text, 29 studies were excluded (see the table with reasons for exclusion under the tab Methods), and twenty studies were included.

### Results

Twenty studies were included in the literature analysis. Important study characteristics and results are summarized in the evidence table. The assessments of the risk of bias are summarized in the risk of bias tables.

## Summary of literature

### Description of studies

Ten RCTs and ten observational studies were selected for the analysis. In the RCTs, adult patients scheduled for coronary CT angiography (CCTA) were randomly assigned to two or more groups with different contrast injection protocols. In the prospective or retrospective observational studies, different protocols applied to adult patients referred for CCTA were compared. Scans were made with a dual-source CT or multidetector CT scanner (GE, Canon, Philips or Siemens). Various iodine-containing contrast materials (iopamidol, iodixanol, iomeprol, iopromide, iopamiron, iohexol, ioversol) with different concentrations were used.

Most studies compared the routine CCTA protocol(s) with one or more CCTA protocols with reduced radiation exposition, striving for optimal attenuation values (325-500 HU) that achieve highly accurate diagnostic images (Baliyan, 2019; Zhu 2018). Protocol groups were divided based on tube voltage (Baliyan, 2019; Cha, 2020; Eijvoogel, 2018; Kidoh, 2014; Kok, 2016; Martin, 2020; Oda, 2015; Sun, 2015; Zhang, 2014; Zhu, 2018), tube current-time product (mAs) (Cha, 2020; Yu, 2019), injection rate (Cha, 2020; Feng, 2017), weight class (Mihl, 2016), anthropometric and cardiometabolic parameters (Eijvoogel, 2020; Yin, 2020; Zhu, 2014), contrast material (Cha, 2020; Sun, 2015) and/or applied contrast delivery protocol (Kok, 2016; Mihl, 2016; Tan, 2019; Tang, 2018; Van den Boogert, 2021; Wang, 2017).

The link between tube voltage, attenuation, IDR and body weight or BMI for the established groups could be assessed for fourteen out of the twenty studies. Ten studies reported body weight in relation to tube voltage, attenuation, and IDR (Baliyan, 2019; Cha, 2020; Eijvoogel, 2020; Kidoh, 2014; Kok, 2016; Mihl, 2016; Oda, 2015; Tan, 2019; Zhu, 2014; Zhu, 2018). BMI was reported in relation to these parameters for twelve of the studies (Baliyan, 2019; Cha, 2020; Eijvoogel, 2020; Feng, 2017; Kidoh, 2014; Oda, 2015; Sun, 2015; Tan, 2019; Tang, 2018; Zhang, 2014; Zhu, 2014; Zhu, 2018). Eight of these studies reported both body weight and BMI.

For six studies, the link between tube voltage, attenuation, IDR and body weight or BMI could not be assessed. Three studies did not report body weight or BMI for the protocol groups (Eijvoogel, 2018; Martin, 2020; Wang, 2017), two studies did not report an average tube voltage for the protocol groups (Van den Boogert, 2021; Yin, 2020) and one study reported the IDR per body surface area (Yu, 2019). Therefore, only the data from the remaining 14 studies was extracted.

### Results

In the fourteen studies, 45 different contrast injection protocols were evaluated, resulting in 45 protocol groups. Seventeen of these groups represented a routine CCTA protocol. In total, 2474 adult patients were treated according to the 45 protocols.

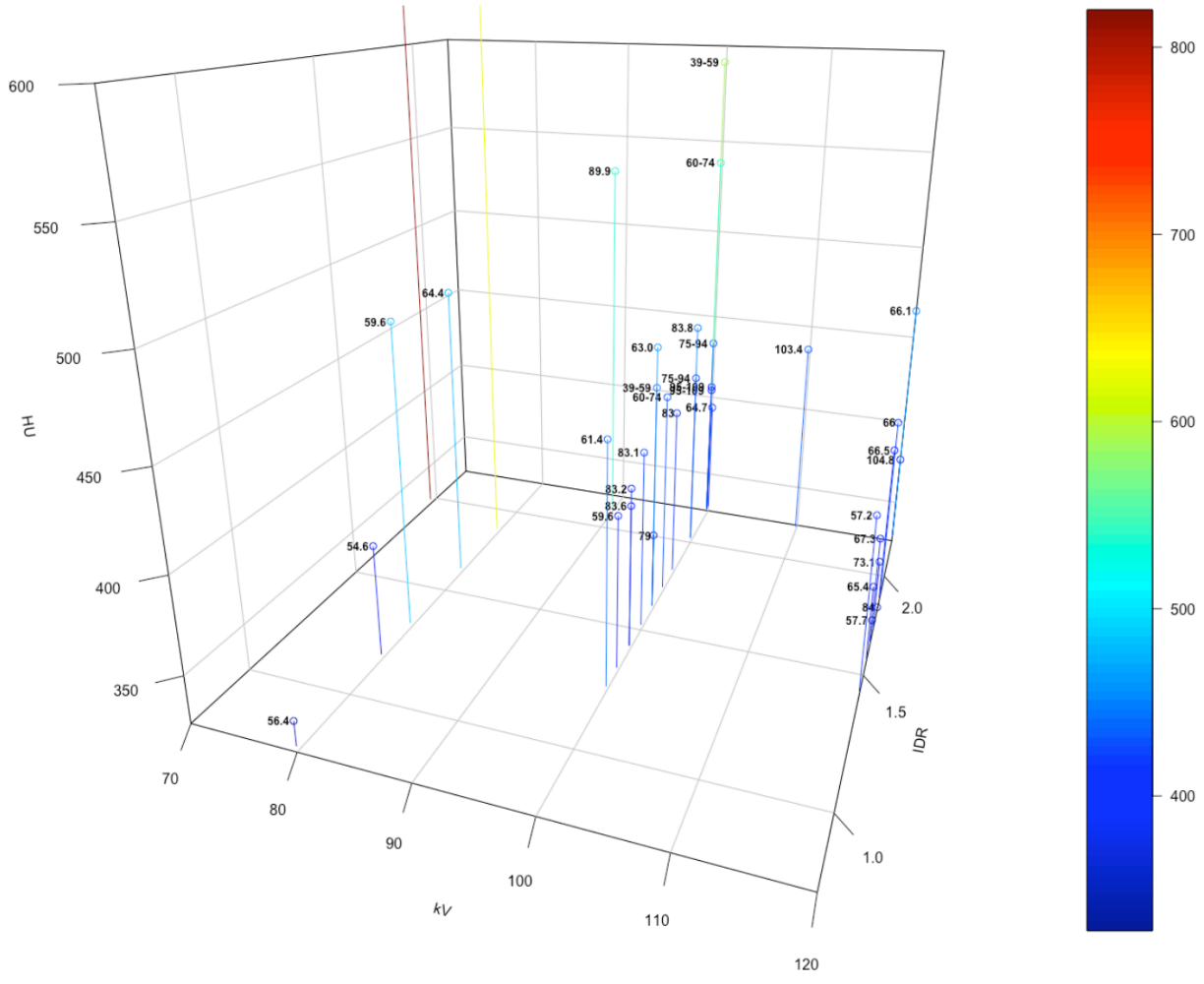
Attenuation values in the selected groups ranged from 328 to 850.7 HU. The studies reported attenuation values of different arteries. For assessment of arterial luminal attenuation a region of interest is frequently positioned in the ascending aorta. Additional regions can be positioned in along the coronary artery tree centerline. For 23 groups, the attenuation measured in the aorta was available. Alternatively, the average attenuation (eight groups), the attenuation in the left main artery (six groups) or the attenuation in the proximal left anterior descending artery (eight groups) was reported. It should be noted that an attenuation level decrease is observed along the centerline from aortic root to distal coronary arteries of about 5 to 10% (Van den Boogert, 2021).

Tube voltage ranged from 70 to 120 kV and IDR from 0.78 to 2.22 gl/s. The reported body weight (28 groups) ranged from 54.6 to 104.8 kg with eight additional groups reporting body weight in four intervals between 39 and 109 kg. The reported BMI (34 groups) ranged from 22 to 35.7 kg/m<sup>2</sup>.

For assessment of arterial luminal attenuation a region of interest is frequently positioned in the ascending aorta. Additional regions can be positioned in along the coronary artery tree centerline.

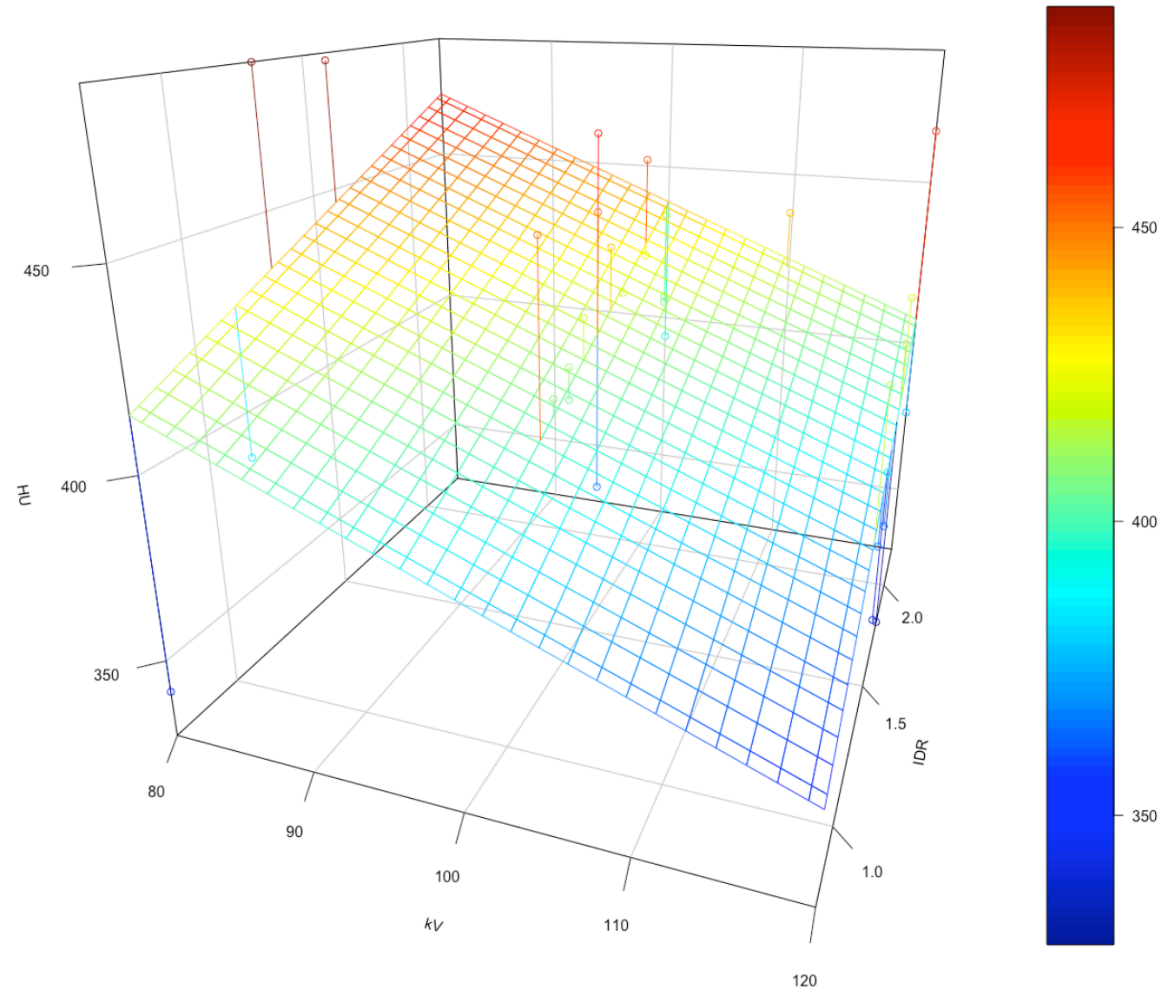
The graphs below visualize the link between tube voltage (x-axis), IDR (y-axis) and attenuation (z-axis) for the selected studies. Each point in graph 1 represents one protocol group with the corresponding body weight. In graph 3, the protocol groups with corresponding BMI values are shown. For graph 2 and 4, the attenuation range was narrowed to 325-500 HU. A regression plane was fitted to the points in that range.

**GRAPH 1: TUBE VOLTAGE (x), IODINE DELIVERY RATE (y) AND ATTENUATION (z) VALUES WITH CORRESPONDING BODY WEIGHT FOR 36 CONTRAST INJECTION PROTOCOLS**  
**EACH POINT REPRESENTS A PROTOCOL GROUP AND SHOWS THE REPORTED BODY WEIGHT IN THAT GROUP. THE LINES OF TWO GROUPS WERE INTERRUPTED FOR THE SAKE OF LEGIBILITY.**

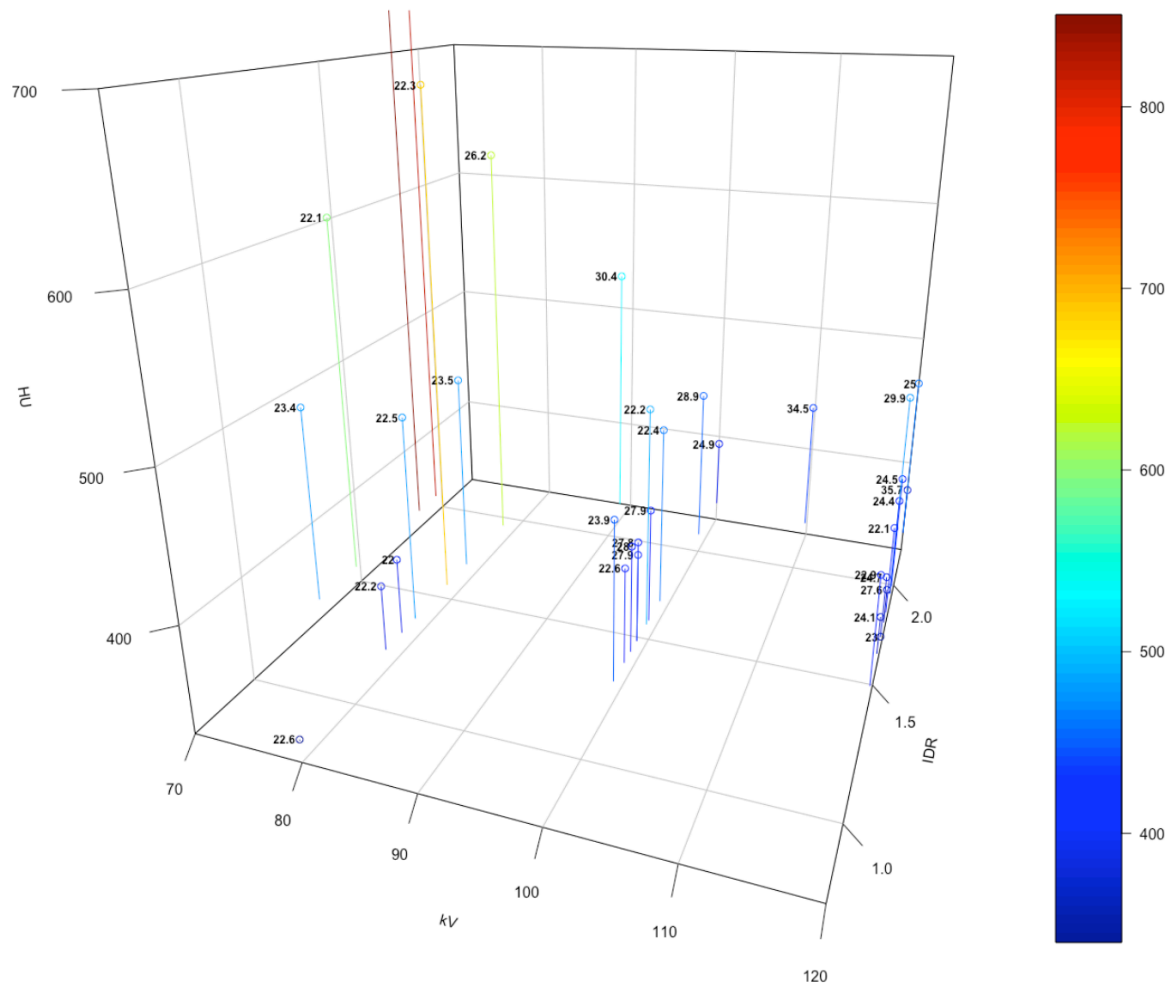




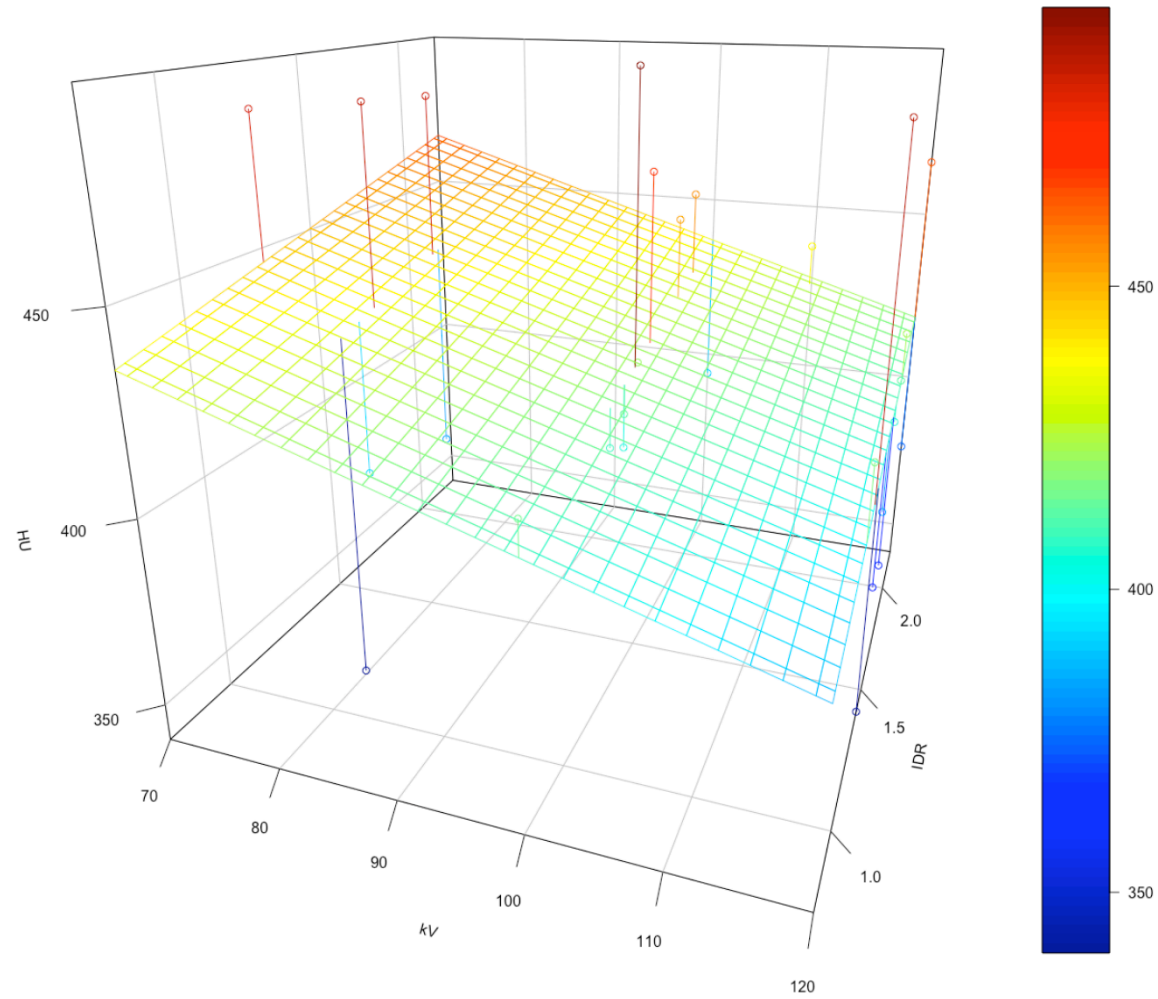
**GRAPH 2: TUBE VOLTAGE (x), IODINE DELIVERY RATE (y) AND ATTENUATION (z) VALUES FOR 31 CONTRAST INJECTION PROTOCOLS (WITH REPORTED BODY WEIGHT) IN THE RANGE OF 325-500 HU**  
THE POINTS IN THE OPTIMAL ATTENUATION RANGE WERE EXTRACTED FROM GRAPH 1. A REGRESSION PLANE WAS FITTED TO THIS SELECTION.



**GRAPH 3: TUBE VOLTAGE (x), IODINE DELIVERY RATE (y) AND ATTENUATION (z) VALUES WITH CORRESPONDING BMI FOR 34 CONTRAST INJECTION PROTOCOLS**  
**EACH POINT REPRESENTS A PROTOCOL GROUP AND SHOWS THE REPORTED BMI IN THAT GROUP. THE LINES OF TWO GROUPS WERE INTERRUPTED FOR THE SAKE OF LEGIBILITY.**



**GRAPH 4: TUBE VOLTAGE (x), IODINE DELIVERY RATE (y) AND ATTENUATION (z) VALUES FOR 28 CONTRAST INJECTION PROTOCOLS (WITH REPORTED BMI) IN THE RANGE OF 325-500 HU**  
THE POINTS IN THE OPTIMAL ATTENUATION RANGE WERE EXTRACTED FROM GRAPH 3. A REGRESSION PLANE WAS FITTED TO THIS SELECTION.



## Conclusions

Adapting or personalizing contrast injection protocols for CCTA scans enables optimization of coronary attenuation values (325 – 500 HU) and a substantial reduction in contrast dose (reductions up to 70%). The most widely used approach to tailor contrast injections is by adjusting the iodine delivery rate (IDR) to patient body weight and applied kV. A table with recently reported IDR values per combination of body weight and kV setting (Van den Boogert, 2021) is provided for clinical implementation (page 23). This IDR scheme is currently being updated for further refinement by decreasing the IDR values for patients in whom a combination of low body weight and kV is applicable and results are awaited.

## Literature

- Baliyan V, Scholtz JE, Kordbacheh H, Hedgire S, Ghoshhajra BB. False-Negative Low Tube Voltage Coronary CT Angiography: High Intravascular Attenuation at Coronary CT Angiography Can Mask Calcified Plaques. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2019 Oct 31;1(4):e190039. doi: 10.1148/ryct.2019190039. PMID: 33778520; PMCID: PMC7977955.
- Cha MJ, Kim SM, Ahn TR, Choe YH. Comparing feasibility of low-tube-voltage protocol with low-iodine-concentration contrast and high-tube-voltage protocol with high-iodine-concentration contrast in coronary computed tomography angiography. *PLoS One*. 2020 Jul 16;15(7):e0236108. doi: 10.1371/journal.pone.0236108. PMID: 32673356; PMCID: PMC7365455.
- Eijsvoogel NG, Hendriks BMF, Nelemans P, Muhl C, Willigers J, Martens B, Wildberger JE, Das M. Personalization of CM Injection Protocols in Coronary Computed Tomographic Angiography (People CT Trial). *Contrast Media Mol Imaging*. 2020 Jan 17;2020:5407936. doi: 10.1155/2020/5407936. PMID: 32410922; PMCID: PMC7201621.
- Eijsvoogel NG, Hendriks BMF, Willigers JL, Martens B, Carati LF, Horehledova B, Kietselaer BLJH, Crijns HJGM, Wildberger JE, Das M. Personalization of injection protocols to the individual patient's blood volume and automated tube voltage selection (ATVS) in coronary CTA. *PLoS One*. 2018 Sep 26;13(9):e0203682. doi: 10.1371/journal.pone.0203682. PMID: 30256835; PMCID: PMC6157854.
- Feng R, Tong J, Liu X, Zhao Y, Zhang L. High-Pitch Coronary CT Angiography at 70 kVp Adopting a Protocol of Low Injection Speed and Low Volume of Contrast Medium. *Korean J Radiol*. 2017 Sep-Oct;18(5):763-772. doi: 10.3348/kjr.2017.18.5.763. Epub 2017 Jul 17. PMID: 28860894; PMCID: PMC5552460.
- Kidoh M, Nakaura T, Nakamura S, Nakamura S, Sakaino N, Harada K, Uemura S, Yamashita Y. Low-contrast-dose protocol in cardiac CT: 20% contrast dose reduction using 100 kVp and high-tube-current-time setting in 256-slice CT. *Acta Radiol*. 2014 Jun;55(5):545-53. doi: 10.1177/0284185113500669. Epub 2013 Aug 22. PMID: 23969265.
- Kok M, Muhl C, Hendriks BM, Altintas S, Kietselaer BL, Wildberger JE, Das M. Optimizing contrast media application in coronary CT angiography at lower tube voltage: Evaluation in a circulation phantom and sixty patients. *Eur J Radiol*. 2016 Jun;85(6):1068-74. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.03.022. Epub 2016 Mar 22. PMID: 27161054.
- Martin SS, Giovagnoli DA, Abadia AF, Vingiani V, Doeberitz PLVK, Smith HE, Fischer AM, Varga-Szemes A, Vogl TJ, De Cecco CN, Schoepf UJ. Evaluation of a Tube Voltage-Tailored Contrast Medium Injection Protocol for Coronary CT Angiography: Results From the Prospective VOLCANIC Study. *AJR Am J Roentgenol*. 2020 Nov;215(5):1049-1056. doi: 10.2214/AJR.20.22777. Epub 2020 Sep 22. PMID: 32960669.
- Muhl C, Kok M, Altintas S, Kietselaer BL, Turek J, Wildberger JE, Das M. Evaluation of individually body weight adapted contrast media injection in coronary CT-angiography. *Eur J Radiol*. 2016 Apr;85(4):830-6. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.12.031. Epub 2016 Jan 7. PMID: 26971431.
- Oda S, Utsunomiya D, Yuki H, Kai N, Hatemura M, Funama Y, Kidoh M, Yoshida M, Namimoto T, Yamashita Y. Low contrast and radiation dose coronary CT angiography using a 320-row system and a refined contrast injection and timing method. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2015 Jan-Feb;9(1):19-27. doi: 10.1016/j.jcct.2014.12.002. Epub 2014 Dec 24. PMID: 25677790.
- Sun G, Hou YB, Zhang B, Yu L, Li SX, Tan LL, Chen DJ. Application of low tube voltage coronary CT angiography with low-dose iodine contrast agent in patients with a BMI of 26-30 kg/m<sup>2</sup>. *Clin Radiol*. 2015 Feb;70(2):138-45. doi: 10.1016/j.crad.2014.10.002. Epub 2014 Nov 14. PMID: 25468636.
- Tan SK, Ng KH, Yeong CH, Raja Aman RRA, Mohamed Sani F, Abdul Aziz YF, Sun Z. Personalized administration of contrast medium with high delivery rate in low tube voltage coronary computed tomography angiography. *Quant Imaging Med Surg*. 2019 Apr;9(4):552-564. doi: 10.21037/qims.2019.03.13. PMID: 31143647; PMCID: PMC6511728.

- Tang Z. Application of double low dose combined low flow injection in coronary dual-source coronary computed tomography angiography. *Echocardiography*. 2018 Sep;35(9):1442-1447. doi: 10.1111/echo.14036. Epub 2018 Jun 4. PMID: 29864195.
- van den Boogert TPW, Lopes RR, Lobe NHJ, Verwest TA, Stoker J, Henriques JP, Marquering HA, Planken RN. Patient-tailored Contrast Delivery Protocols for Computed Tomography Coronary Angiography: Lower Contrast Dose and Better Image Quality. *J Thorac Imaging*. 2021 Nov 1;36(6):353-359. doi: 10.1097/RTI.0000000000000593. PMID: 34269752.
- Wang W, Zhao YE, Qi L, Li X, Zhou CS, Zhang LJ, Lu GM. Prospectively ECG-triggered high-pitch coronary CT angiography at 70 kVp with 30mL contrast agent: An intraindividual comparison with sequential scanning at 120 kVp with 60mL contrast agent. *Eur J Radiol*. 2017 May;90:97-105. doi: 10.1016/j.ejrad.2017.02.020. Epub 2017 Feb 17. PMID: 28583653.
- Yin WH, Yu YT, Zhang Y, An YQ, Hou ZH, Gao Y, Wang HP, Lu B, De Santis D, Rollins JD, Schoepf UJ. Contrast medium injection protocols for coronary CT angiography: should contrast medium volumes be tailored to body weight or body surface area? *Clin Radiol*. 2020 May;75(5):395.e17-395.e24. doi: 10.1016/j.crad.2019.12.005. Epub 2020 Jan 7. PMID: 31924327.
- Yu Y, Yin W, Liao K, Liu T, Wang X, Sun K, Lu B. Individualized contrast agents injection protocol tailored to body surface area in coronary computed tomography angiography. *Acta Radiol*. 2019 Nov;60(11):1430-1437. doi: 10.1177/0284185119840769. Epub 2019 May 12. PMID: 31081338.
- Zhang LJ, Qi L, De Cecco CN, Zhou CS, Spearman JV, Schoepf UJ, Lu GM. High-pitch coronary CT angiography at 70 kVp with low contrast medium volume: comparison of 80 and 100 kVp high-pitch protocols. *Medicine (Baltimore)*. 2014 Nov;93(22):e92. doi: 10.1097/MD.0000000000000092. PMID: 25396334; PMCID: PMC4616317.
- Zhu X, Zhu Y, Xu H, Wan Y, Choo KS, Yang G, Tang L, Xu Y. An individualized contrast material injection protocol with respect to patient-related factors for dual-source CT coronary angiography. *Clin Radiol*. 2014 Feb;69(2):e86-92. doi: 10.1016/j.crad.2013.09.018. Epub 2013 Nov 26. PMID: 24290781.
- Zhu X, Yu Y, Xu D, Zhang H, Tang L. Coronary angiography using second-generation dual source computed tomography: Feasibility of low dose and low flow rate to achieve appropriate individual contrast enhancement using a test bolus-based contrast medium protocol-A CONSORT compliant article. *Medicine (Baltimore)*. 2018 Jul;97(29):e11425. doi: 10.1097/MD.00000000000011425. PMID: 30024514; PMCID: PMC6086535.