

De cardiostraat: functionele en anatomische sneldiagnostiek bij (verdenking op) coronairlijden

Jouke J. Boer, MD¹; Pieter T.G. Bot, MD, PhD²

¹Afdeling Nucleaire Geneeskunde; ²Afdeling Cardiologie, Spaarne Gasthuis, Haarlem

Background

Coronary artery disease (CAD) pathways are often fragmented and slow, increasing anxiety and delaying therapy. The Cardiostraat is an integrated, same-day pathway combining Rubidium-82 myocardial perfusion PET/CT (⁸²Rb PET/CT) and coronary CT angiography (CCTA) with multidisciplinary reading and immediate feedback.

Methods

We describe the pathway and report single-centre outcomes from three complementary lines: efficiency versus usual care, diagnostic complementarity of CCTA+PET relative to invasive coronary angiography (CAG), and patient-reported cardiac anxiety (CAQ).

Results

The pathway handles about 12 first-line referrals per week. Time-to-diagnosis decreased from 70.7 to 10.3 days (median 69.5–8.0; $p < 0.001$) while ischaemia yield remained similar (24.0% usual care vs 25.3% fast-track; $p = 0.789$). In 171 consecutive Cardiostraat patients, relevant CAD was excluded in 87.1%: 63.8% by CCTA alone, 21.5% by PET-only, and 14.8% by PET after inconclusive CCTA. Only 18 patients proceeded to CAG; among PET-positive cases with CAG, culprit territory and intended treatment aligned in 9/13, and in 5 triple-modality cases (CCTA+PET+CAG) diagnosis and plan were identical.

Prospective CAQ measurements showed lower and more stable anxiety curves in the fast-track arm with a clear within-group decline after receiving same-day results; between-group differences were small and non-significant.

Conclusion

Cardiostraat operationalises patient-tailored, non-invasive CAD diagnostics by combining anatomical and functional imaging, producing substantially shorter time-to-diagnosis and fewer potentially avoidable invasive procedures while maintaining diagnostic yield and supporting value-based care.

Inleiding en probleemstelling

Functionele beeldvorming met 82-rubidium myocardperfusie PET/CT (⁸²Rb-PET) is een krachtig diagnosticum voor het aantonen en uitsluiten van ischemie, met kwantificatie van perfusie en (indien geïndiceerd) coronaire flowreserve. In een patiënt gecentreerde benadering vormt dit in combinatie met anatomische informatie uit CCTA en de calciumscore (CCS) de basis voor patiënt tailored besluitvorming: niet invasief waar mogelijk, gericht invasief waar nodig (1). In veel ziekenhuizen is de diagnostiek echter gefragmenteerd over meerdere polibezoeken en wachtrijen, wat leidt tot vertraging, hogere belasting voor patiënt en zorgsysteem, toename van wachttijd, met mogelijk gevolgen

van het niet tijdig diagnosticeren van ernstige ziekte en toename van onzekerheid gerelateerde hartangst.

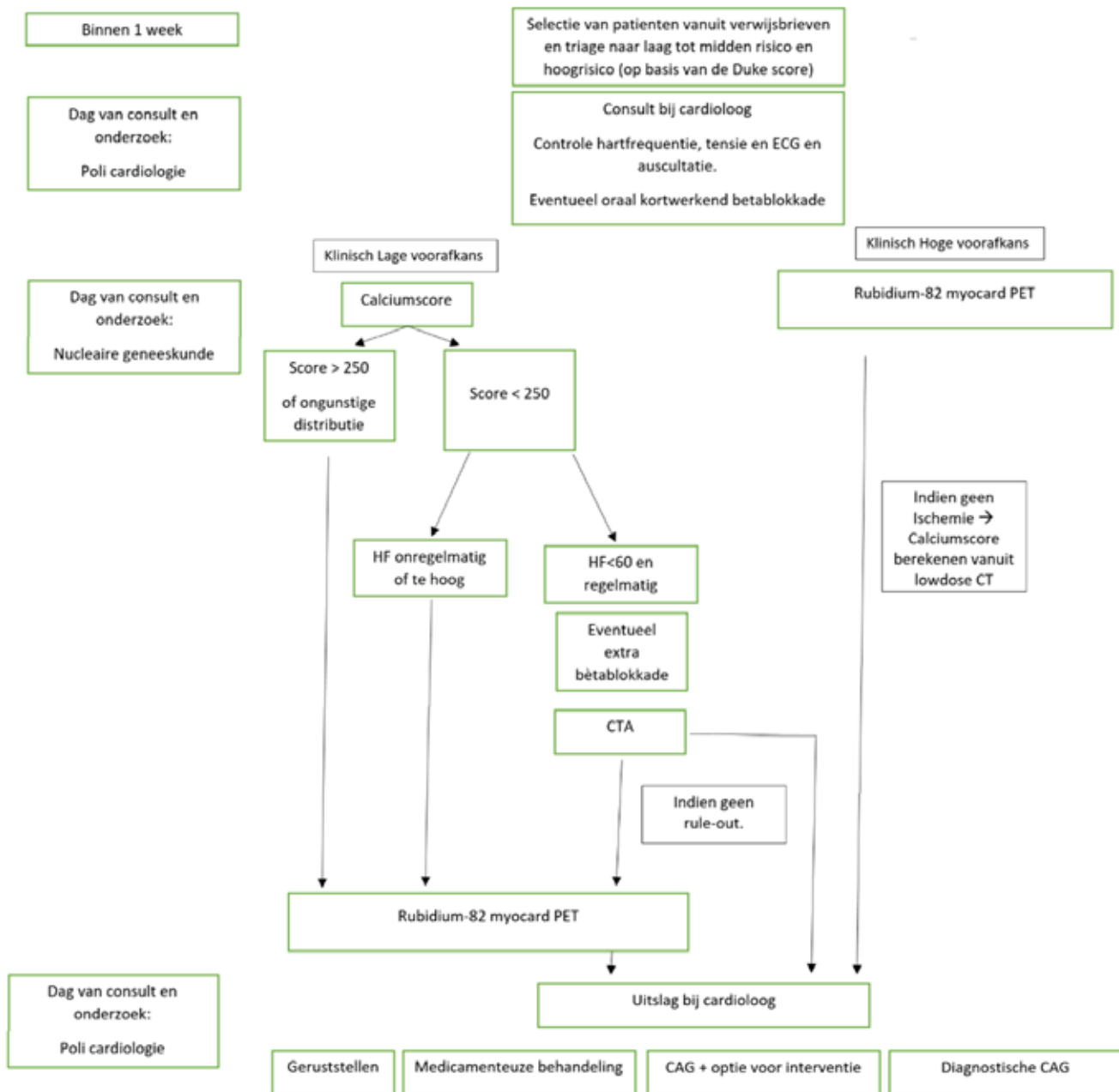
Het Spaarne Gasthuis ontwikkelde daarom de cardiostraat: een geïntegreerd zorgpad voor patiënten met nieuwe pijn op de borstklachten of recidief klachten (bij bekend coronairlijden), doorgaans verwezen vanuit de eerste lijn. De kern is same day diagnostics: intake, beeldvorming (⁸²Rb-PET en/of CCTA, ondersteund door CCS) en multidisciplinaire interpretatie met directe terugkoppeling. Deze opzet sluit aan bij hedendaagse richtlijnen voor het chronisch coronair syndroom (1,2) waarin rationele keuze tussen anatomische en functionele beeldvorming wordt aanbevolen. In dit artikel beschrijven wij de opzet en uitvoering van de cardiostraat, lichten wij meerdere lokale deelstudies toe en bespreken wij implicaties voor waarde gedreven zorg in de nucleaire cardiologie.

Figuur 1 toont een schematische workflow van de cardiostraat (intake → triage → beeldvorming → uitslag en eventueel vervolgbeleid dezelfde dag getrieerd naar een calciumscore, met CT en PET-workflow of enkel PET-workflow).

Onderzoekslijnen en resultaten

1) Efficiëntie en doorlooptijd (zie tabel 1) (3)

Sinds de invoering van de cardiostraat zien we een duidelijke versnelling van het diagnostische



Figuur 1. Stroomschema cardiostraat zorgpad.

traject zonder in te leveren op opbrengst. In een vergelijking van 150 cardiostraatpatiënten met 150 patiënten in het traditionele pad daalde de tijd-tot-definitieve uitslag van gemiddeld $70,7 \pm 31,5$ dagen (mediaan 69,5; IQR 54,8–79,3; min 14, max 194) naar $10,3 \pm 8,5$ dagen (mediaan 8,0; IQR 3,0–14,0; min 2, max 58) ($p < 0,001$), terwijl het aandeel

patiënten met ischemie vergelijkbaar bleef (24,0% traditioneel versus 25,3% cardiostraat; $p = 0,789$). In de praktijk betekent dit dat een groot deel van de circa twaalf eerstelijnsverwijzingen per week binnen hetzelfde ziekenhuiscapaciteitskader sneller en doelmatiger wordt afgehandeld, met minder niet-informatieve onderzoeken dankzij scherpere indicatiestelling

en directe multidisciplinaire besluitvorming.

2) CCTA als complementair of afdoende diagnosticum (zie tabel 2) (3)

Na introductie van CCTA binnen de cardiostraat is bij 171 opeenvolgende patiënten geëvalueerd hoe anatomie en functie elkaar versterken en wanneer een diagnostische CAG kan

Tabel 1. Doorlooptijd en diagnostische opbrengst: traditioneel pad versus cardiostraat.

uitkomst	traditioneel pad (n=150)	cardiostraat (n=150)	p-waarde
tijd tot diagnose (dagen) gemiddeld ± sd	70,7 ± 31,5	10,3 ± 8,5	<0,001
mediaan (iqr)	69,5 (54,8–79,3)	8,0 (3,0–14,0)	–
min-max	14–194	2–58	–
ischemie n (%)	36 (24,0%)	38 (25,3%)	0,789

worden vermeden. Coronairlijden werd uitgesloten in 87,1% (149/171) waarvan 63,8% door CCTA alleen, 21,5% door PET, en 14,8% door PET na een inconclusieve CCTA. Slechts 18 patiënten ondergingen daaropvolgend een CAG, bij 4 zonder significant coronairlijden. In de subgroep met PET-positieve ischemie en vervolgstap CAG was in 7/12 (58,3%) gevallen het aangedane stroomgebied en behandelplan congruent. In zes casussen waarin CCTA, PET en CAG allemaal werden verricht, waren diagnose én behandelplan volledig identiek. Deze data ondersteunen dat CCTA vaak afdoende is om coronairlijden uit te sluiten, en dat PET bij twijfelachtige stenosen de functionele relevantie verduidelijkt waardoor een louter diagnostische CAG in veel gevallen vermeden wordt.

3) Value Based Healthcare (VBHC) en implementatie (4)

Duurzame implementatie in de cardiostraat draait primair om organisatie en samenwerking: heldere triage, vaste aanspreekpunten en eenduidige werkafspraken tussen cardiologie, nucleaire geneeskunde, planning, polikliniek en MBB'ers. We hebben eerst semigestructureerde interviews gehouden met vertegenwoordigers van deze disciplines. De opgehaalde knelpunten zijn vervolgens in een werksessie (circa 30 medewerkers) gezamenlijk geclusterd en geprioriteerd met een impact-moeite-matrix (wat levert het op vs. wat kost het). Op basis daarvan kozen we quick wins en enkele grotere verbeteracties voor implementatie. Acht knelpunten zijn geïdentificeerd; de oplossingen hiervoor omvatten vaste aanspreekpunten, gezamenlijke MDO momenten, gestroomlijnde

patiënteninformatie en meeloopdagen. Deze VBHC enablers verkorten doorlooptijd, verminderen faalkosten en verhogen tevredenheid voor zowel patiënt als medewerker.

Met VBHC-enablers doelen we op de organisatorische randvoorwaarden die waardegedreven zorg mogelijk maken-dus niet de diagnostische onderzoeken zelf, maar afspraken, rollen en werkafspraken. De in de voorgaande alinea genoemde maatregelen (o.a. vaste aanspreekpunten en een wekelijkse huddle; gestandaardiseerde pre-checks en duidelijke aanvraaglabels; een overdrachtsjabloon met Duke-score/CCS; de metoprolol-afspraken; en een vast wijzigingskanaal) zijn daarvan voorbeelden. Als pakket vormen ze de procesinfrastructuur onder de cardiostraat en hingen ze samen met de geobserveerde

Tabel 2. CCTA en ⁸²Rb-PET/CT in de cardiostraat: uitsluiten van CAD en downstream CAG.

uitkomst	waarde
totale populatie, n	171
CAD uitgesloten, n (%)	149 (87,1%)
- door CCTA alleen, n (%)	95 (63,8%)
- door PET, n (%)	32 (21,5%)
- door PET na inconclusieve CCTA, n (%)†	22 (14,8%)
CAG verricht, n	18
- geen significant CAD op CAG, n	4
drie-modale cases (CCTA + PET + CAG), n	6 (diagnose + behandelplan identiek)
PET-positief + CAG: concordantie stroomgebied/beleid	7/12 (58,3%)

Tabel 3. Cardiac anxiety questionnaire (CAQ): volledig cohort 2021–2025 (fast-track versus usual care).

groep	n	t0 (mediaan [iqr])	t1 (mediaan [iqr])	t2 (mediaan [iqr])	p-waarde tussen groepen (t0 / t1 / t2)
cardiostraat	61	20,0 [15,5–28,0]	21,0 [15,0–27,5]	20,5 [13,3–31,0]	–
standaardzorg	71	23,0 [17,0–32,0]	26,0 [17,0–33,0]	24,0 [15,5–30,0]	0,053 / 0,063 / 0,456

CAQ: gevalideerde vragenlijst voor hartgerichte angst (18 items; per item 0–4; totaalscore 0–72; hogere score = meer angst); tijdstippen: t0 = vóór beeldvorming; t1 = dag na uitslag; t2 ≈ 3 weken; t2-data beschikbaar voor n=77 in totaal; p-waarden tussen groepen (t0/t1/t2) op basis van Mann-Whitney U-toets; mediaan [iqr] per groep.

winst in doorlooptijd, faalkosten en tevredenheid.

4) Stressreductie en cardiac anxiety (5)

Omdat wachttijd en onzekerheid direct samenhangen met hartangst, volgden we de Cardiac Anxiety Questionnaire (CAQ) in twee cohorten (6). De CAQ is een gevalideerde vragenlijst voor hartgerichte angst met 18 items (per item 0–4 punten; totaalscore 0–72; hogere score = meer angst). In de eerste, prospectieve pilot (30 cardiostraat versus 30 traditioneel; metingen op T0 = vóór beeldvorming, T1 = dag na uitslag, T2 ≈ 3 weken) daalde de hartangst na de uitslag significant in beide groepen, met blijvend lagere waarden na drie weken; verschillen tussen de groepen bleven klein. Dit suggereert dat vooral het ontvangen van de uitslag de grootste daling geeft en dat de totale periode van ervaren angst korter is in de cardiostraat door de snellere doorlooptijd. In het uitgebreide cohort 2021–2025 (fast-track n=61; usual care n=71) bleven de mediane CAQ-scores in de fast-trackarm lager en stabiel, maar de groepsverschillen op T0/T1/T2 waren niet significant (p≈0,053; 0,063; 0,456). Dit patroon, samen met een lager gerapporteerde impact van wachttijd in de fast-trackgroep, ondersteunt het geruststellende effect van sneldiagnostiek, met bescheiden absolute verschillen en rekening houdend met methodologische factoren (onder andere timing van T1 en mogelijke selectie).

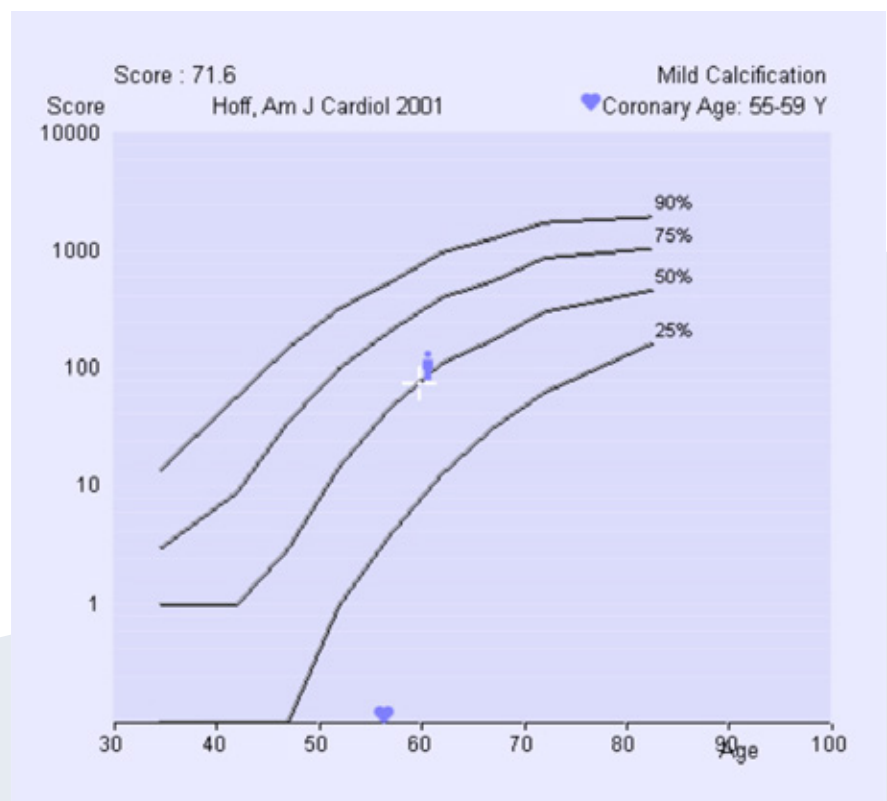
Casuïstiek (CCTA-⁸²Rb-PETfusie)

Casus 1 - Milde ischemie

Figuur 2A–H: calciumscore (A) met beperkte calcificatie; axiale CCTA (B) toont geen functioneel relevante LAD-stenose; in D1 wel een focale stenose; PET-perfusie (C) laat een klein, gelokaliseerd reversibel defect zien anterolateraal; QPS (D) is concordant; gated cine (E/F) toont normale LV-functie met hypokinesie in het

ischemische gebied anterolateraal; MBF/17-segmenten (G) is globaal normaal met gering verminderde regionale waarde in het D1-gebied; fusie CCTA-PET (H) bevestigt: geen LAD-ischemie, geringe D1-ischemie; video's via QR 2B (CCTA), QR 2E (gated) en QR 2H (fusie).

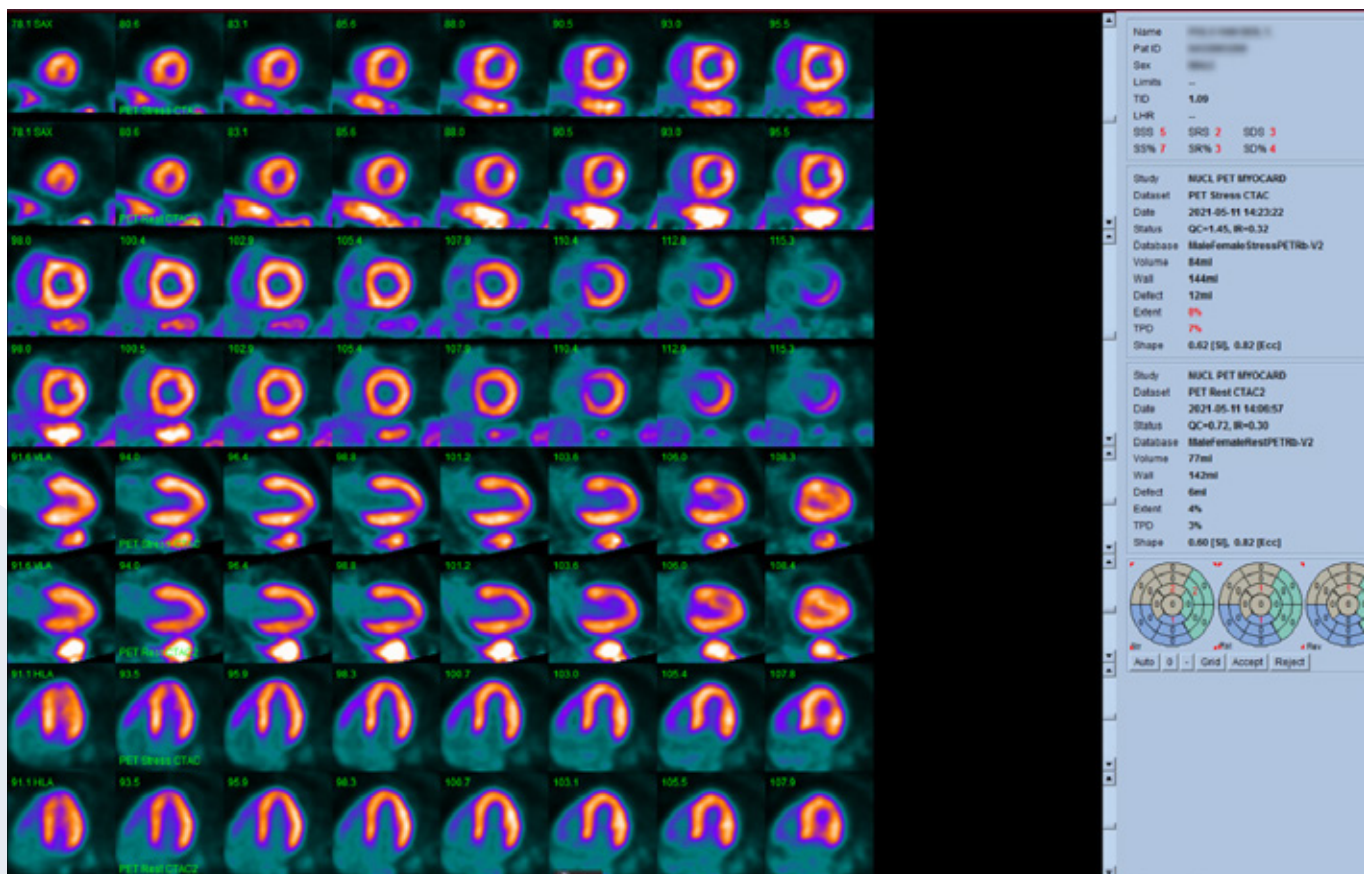
Beleid: conservatief (medicatieoptimalisatie en leefstijl).



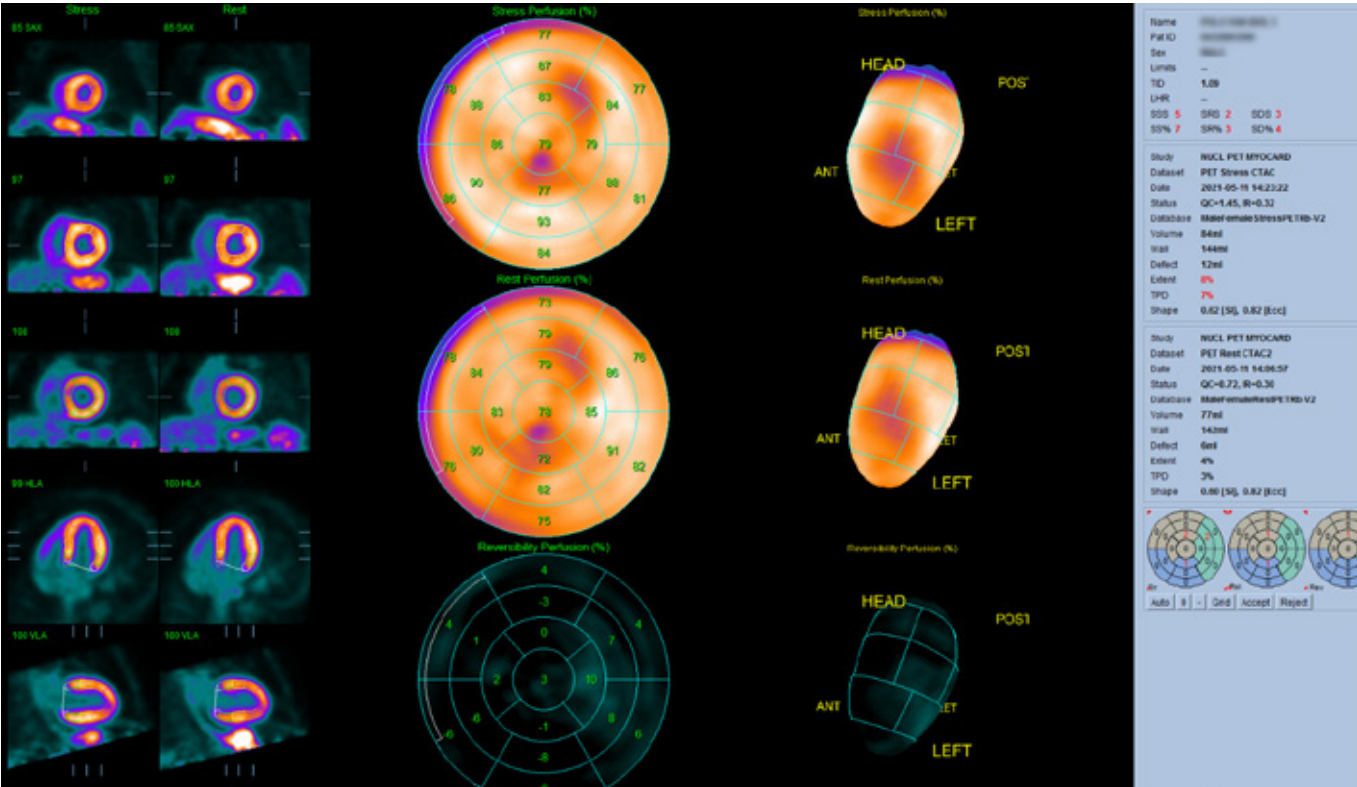
Figuur 2A. Calciumscore mesa percentile casus 1.



Figuur 2B. Axiale CCTA casus 1.



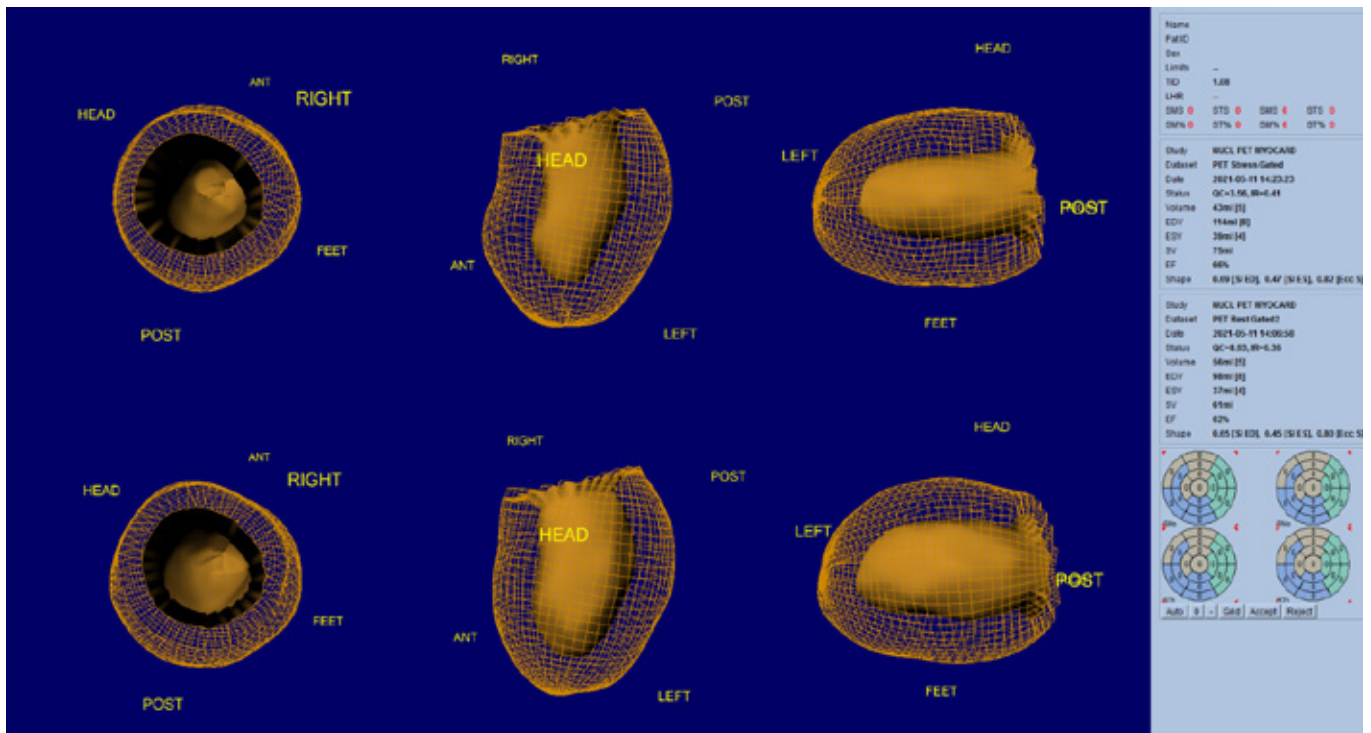
Figuur 2C. Perfusiebeelden casus 1.



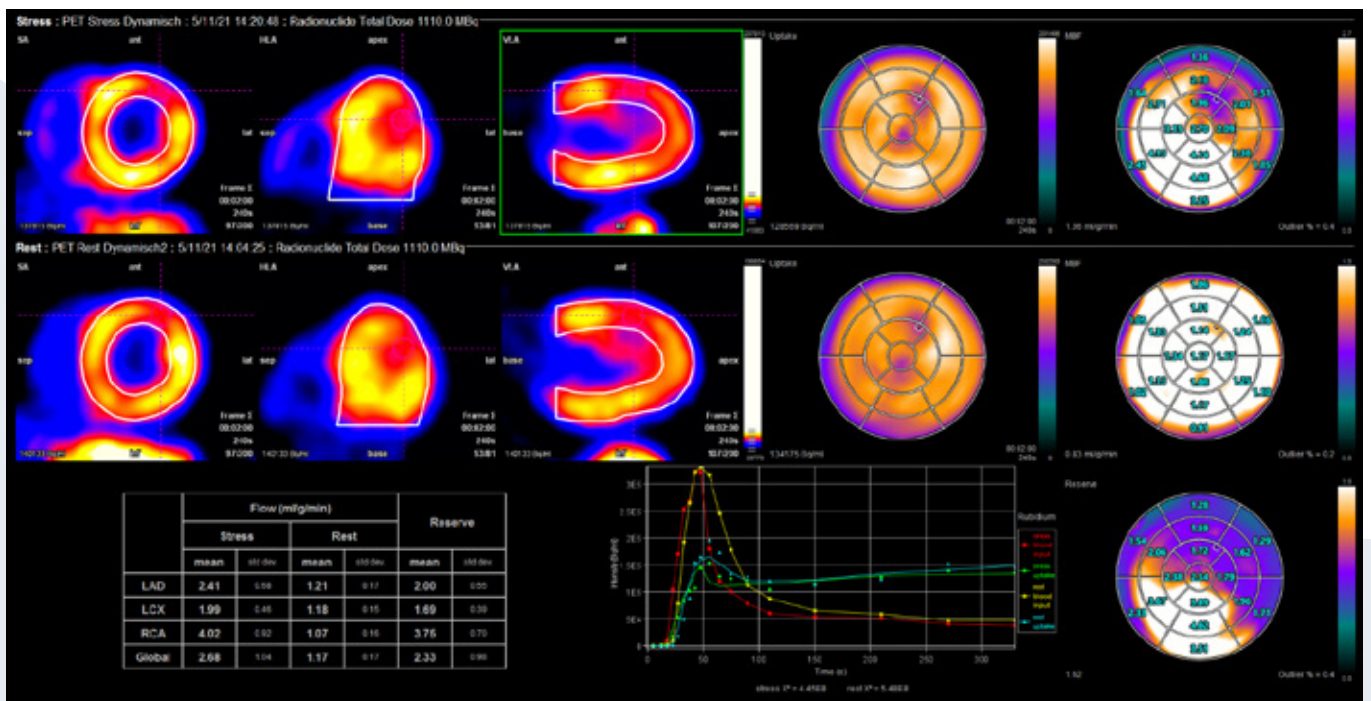
Figuur 2D. QPS casus 1.



Figuur 2E. Gated Cine casus 1.



Figuur 2F. Ejectiefraction en volumina casus 1.



Figuur 2G. MBF casus 1.



Figuur 2H. Gefuseerde CCTA met stress PET casus 1.

proximale LAD-occlusie; stress-perfusie (C) laat een uitgebreid anteroseptaal reversibel defect (>20% LV) zien; QPS (D) is congruent; gated cine (E/F) toont uitgebreide wandbewegingsstoornissen ter plaatse van het defect; MBF/17-segmenten (G) geeft duidelijk verlaagde regionale doorstroming/reserve in het LAD-territorium; fusie CCTA-PET (H) bevestigt uitgebreide LAD-ischemie; video's via QR 3B (CCTA), QR 3E (gated) en QR 3H (fusie).

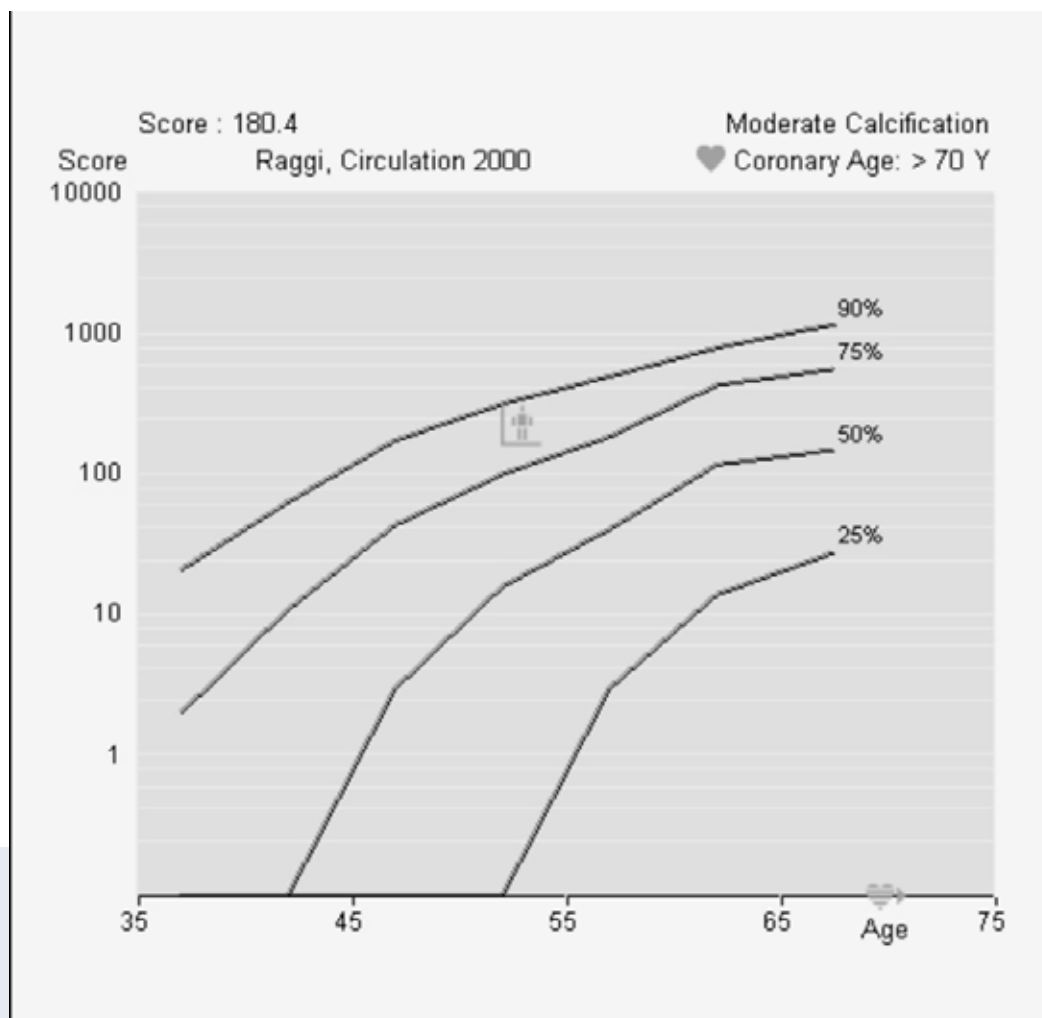


Figuur 3B. Axiale CCTA casus 2.

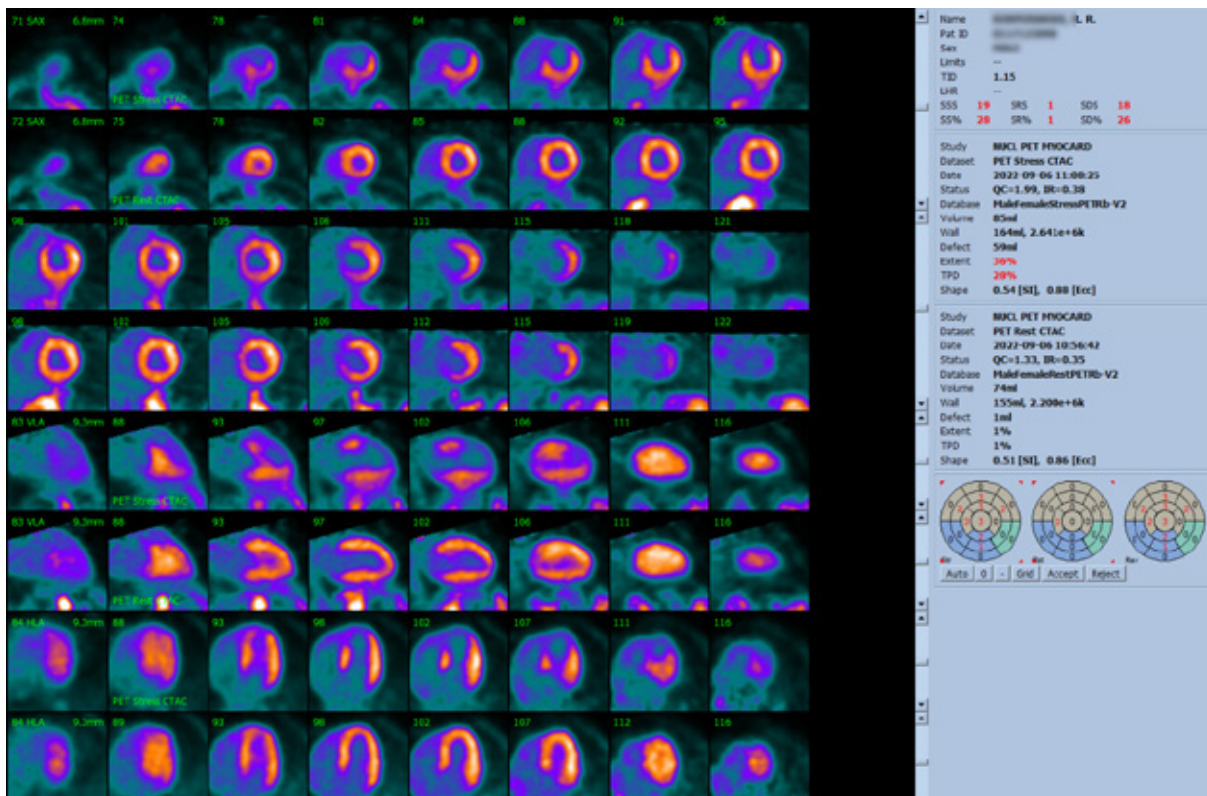
Casus 2 - Ernstige ischemie

Figuur 3A-H: calciumscore (A) passend bij matige calcificatie; axiale CCTA (B) toont een (sub)totale

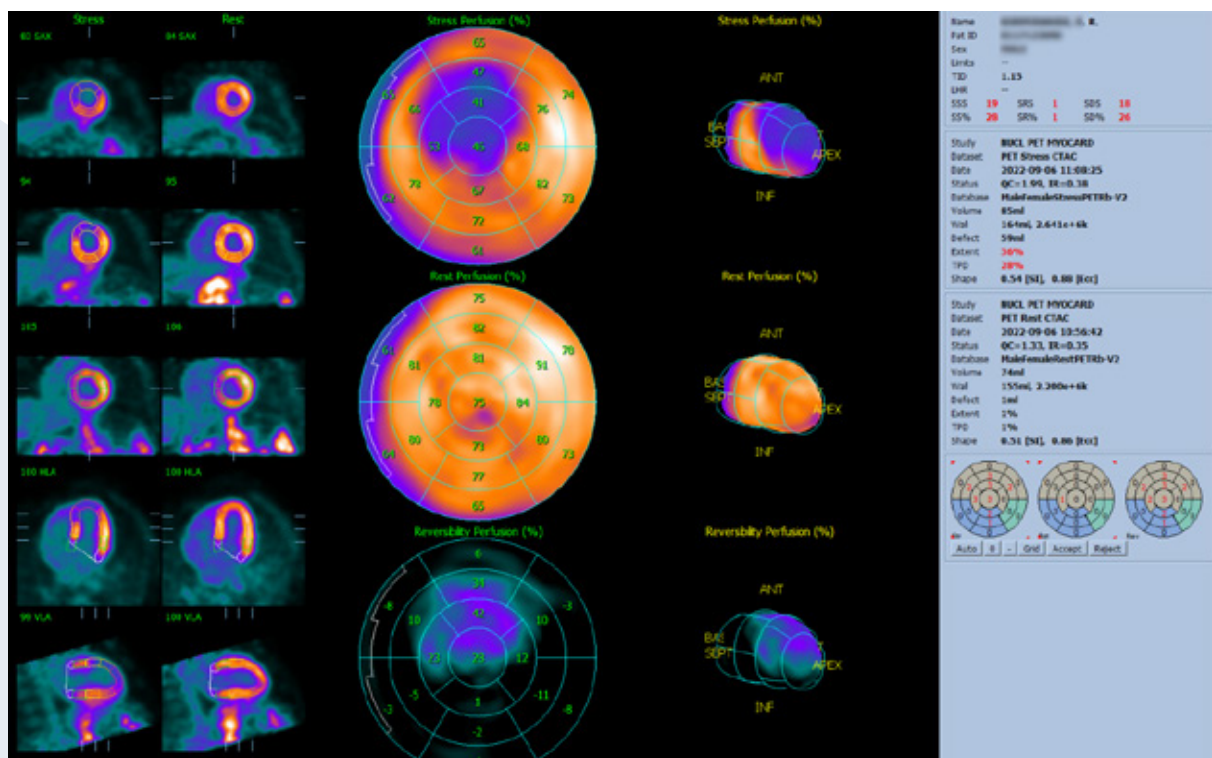
Beleid: CAG/FFR → PCI LAD; klinisch herstel bij follow-up, diagnostische CAG is onnodig.



Figuur 3A. Calciumscore mesa percentile casus 2.



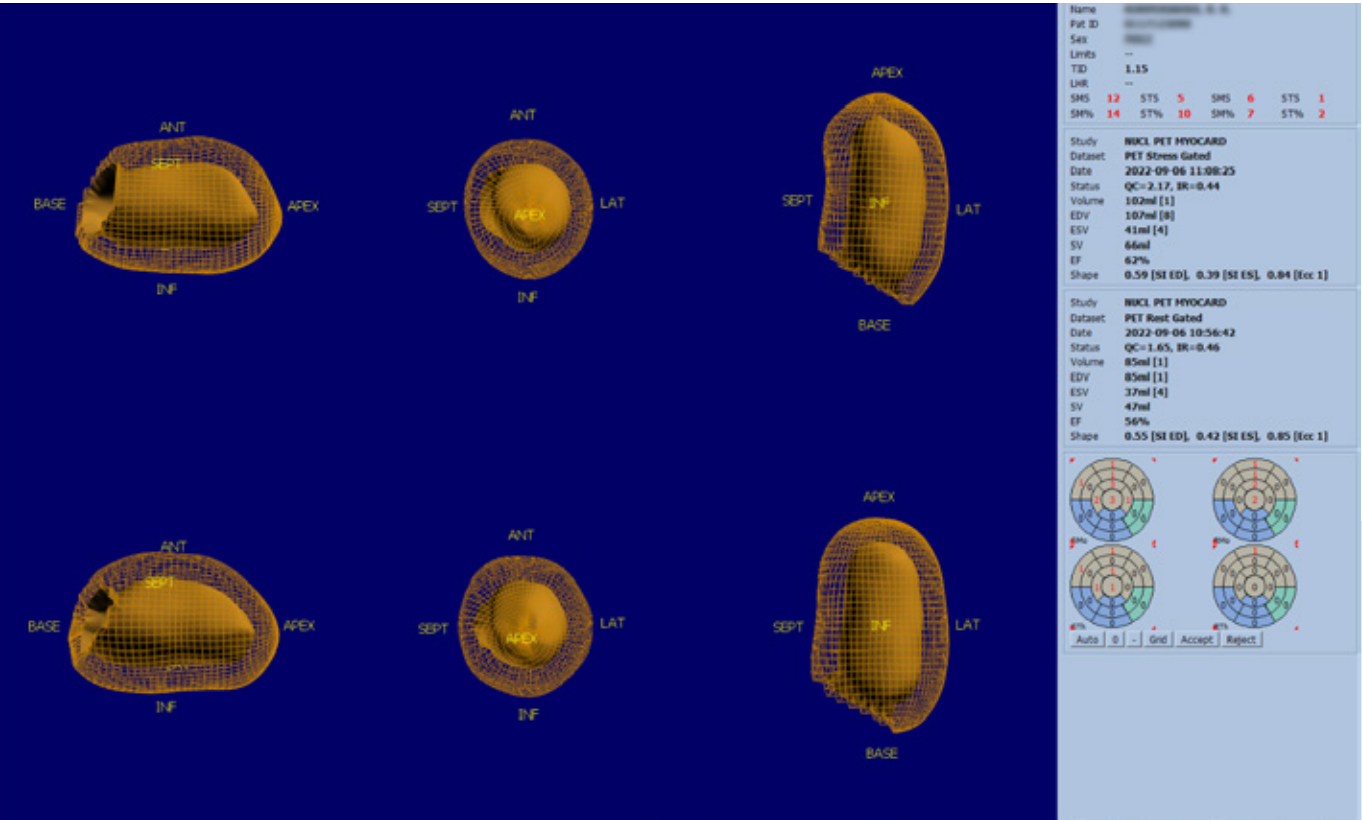
Figuur 3C. Perfusiebeelden casus 2.



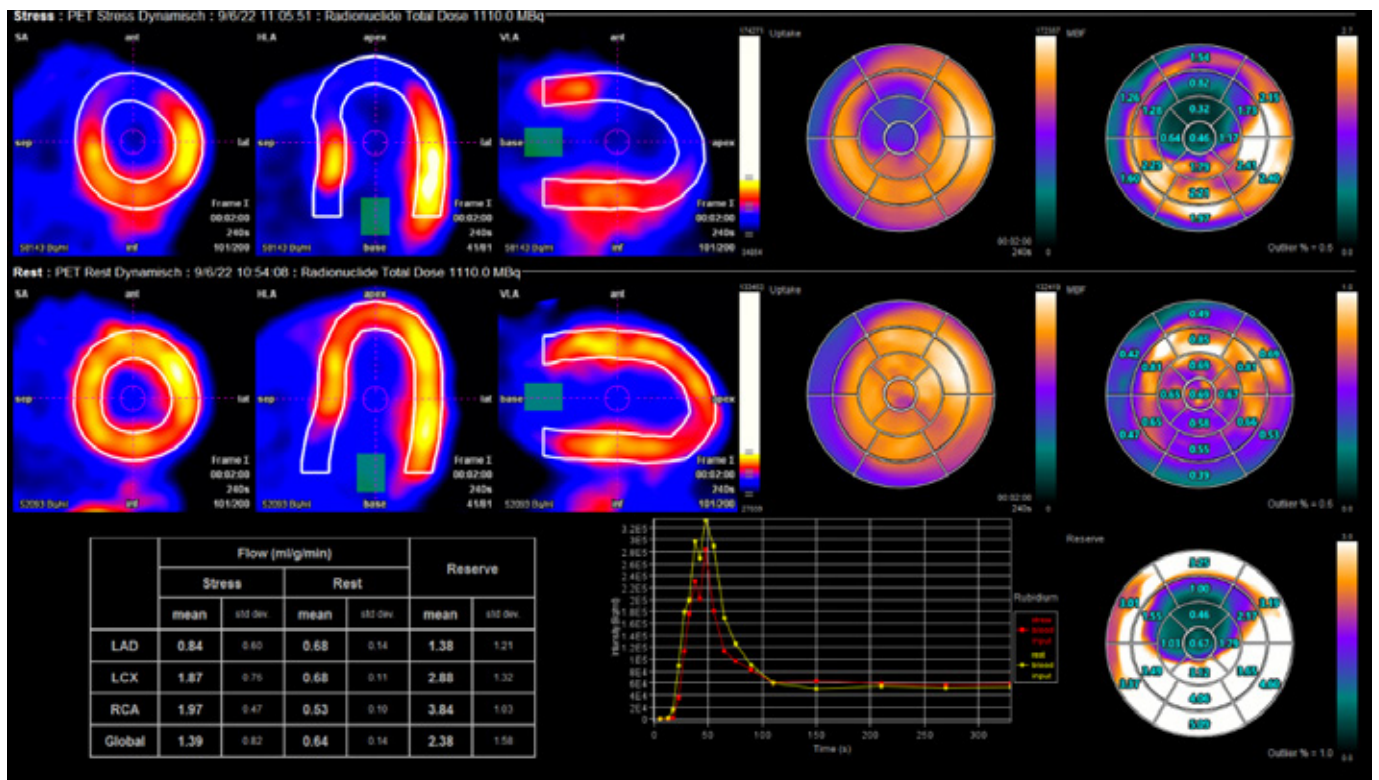
Figuur 3D. QPS casus 2.



Figuur 3E. Gated Cine casus 2.



Figuur 3F. Ejectiefractie en volumina casus 2.



Figuur 3G. MBF casus 2.



Figuur 3H. Gefuseerde CCTA met stress PET casus 2.

Discussie

De cardiostraat operationaliseert een toekomstbestendige, non-invasieve strategie die naadloos past bij de ESC 2024-richtlijn voor chronic coronary syndromes: een risicogewogen klinische voorafkans met CCTA als eerste uitsluittest bij lage-intermediaire voorafkans en functionele beeldvorming (hier:

^{82}Rb -PET/CT) bij hogere voorafkans of twijfel na CCTA. Dit sluit ook aan bij de 2021 AHA/ACC Chest Pain-richtlijn, die CCTA en functionele testen als gelijkwaardige, contextafhankelijke eerste keus positioneert. In onze setting leidt dit tot kortere doorlooptijden, minder cardiac anxiety en het vermijden van diagnostische CAG bij afwezigheid van functioneel relevante ischemie; vanuit VBHC-perspectief reduceert dit verspilling en bevordert het right test, right patient, right time.

Praktische uitdagingen betreffen vooral logistiek en samenwerking (planning, informatieoverdracht, eindverantwoordelijkheid). Relatief eenvoudige ingrepen, zoals vaste aanspreekpunten, een kort structureel overlegmoment, gestandaardiseerde pre-checks (bijvoorbeeld eGFR/order), meeloopdagen en eenduidige triageregels verbeteren aantoonbaar

flow, faalkosten en tevredenheid. Deze lessen zijn goed vertaalbaar naar andere ziekenhuizen en regionale samenwerkingsverbanden, mits aan enkele randvoorwaarden wordt voldaan: (i) strakke triage met DUKE-score/CCS, (ii) CT-kwaliteit en HF-controle voor betrouwbare CCTA, (iii) toegang tot PET-capaciteit (of lokaal alternatief) met gestandaardiseerde rapportage (bijvoorbeeld CAD-RADS 2.0 voor CCTA en een uniform PET-verslag met MBF/MFR-kwantificatie), en (iv) korte lijnen tussen cardiologie en nucleaire geneeskunde voor (same-day) besluitvorming (7).

De nauwe samenwerking binnen één zorgpad biedt tevens kansen voor de toekomst. Ten eerste vraagt de cardiologie om een vrouw-gerichte benadering: INOCA/ANOCA en microvasculair lijden krijgen nadrukkelijk plaats in de ESC 2024-richtlijn; PET met MBF/MFR-

kwantificatie kan hierbij non-invasieve mechanistische informatie geven die aanvullend is op CCTA (8). Invasieve coronair functioneel testen blijven belangrijk bij persisterende klachten; de keuze is patiënt- en center-afhankelijk (2,9-11). Ten tweede komt plaque-biologie in beeld: [^{18}F]NaF-PET laat in recente studies associaties zien met hoogrisicoplaque-kenmerken; klinische implementatie is nog onderwerp van onderzoek, maar integratie met CCTA-morfologie kan in de toekomst risicostratificatie verfijnen (12). Tot slot kan slimmere patiëntselectie (klinisch profiel, CCS, CAD-RADS, en stress-only PET) de totale stralingsdosis en onderzoekslast verder reduceren. Multicenter validatie en uitkomstdata (events, revascularisatie, heropnames) zijn logische vervolgstappen.

Conclusie

De cardiostraat levert snelle, nauwkeurige en patiëntvriendelijke diagnostiek door CCTA en ^{82}Rb -PET doelmatig te combineren. De doorlooptijd verkort, cardiac anxiety neemt af en diagnostische CAG kan vaak worden vermeden. Door VBHC principes en data gedreven triage (DUKE, CCS) te omarmen, wordt onnodige diagnostiek beperkt zonder kwaliteitsverlies. Dit model versterkt de positie van deze technieken en samenwerking in een landschap van moderne, waarde gedreven hartzorg. ♦

Dankwoord / belangenverklaring

Dank aan MBB'ers, polikliniek cardiologie, nucleair geneeskundigen, cardiologen en alle andere betrokkenen van het Spaarne

Gasthuis voor hun bijdragen aan de cardiostraat en de hier beschreven studies. Belangenconflicten: geen.

Referenties

1. Vrints C, Andreotti F, Koskinas KC, et al. 2024 ESC Guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J*. 2024;45(36):3415-537
2. Maron DJ, Hochman JS, Reynolds HR, et al. Initial Invasive or Conservative Strategy for Stable Coronary Disease. *New England Journal of Medicine*. 2020;382(15):1395-407
3. Boer J, Ketting L, Lommen B, Ros M. Internal Data Report: COROSNEL, COMBI-CAD and WIESCHICALC studies. Spaarne Gasthuis Internal Report. 2024
4. Groenewoud M, de Nie N, Bader S, Boer J. Verbetering van de interdisciplinaire samenwerking binnen de cardiostraat. 2025
5. van der Vegt J, Euser S, Boer J. Evaluation of the cardiac fast-track versus usual care in reducing cardiac anxiety in patients undergoing imaging at the nuclear medicine department in the Netherlands. Spaarne Gasthuis Internal Report. 2025
6. Van Beek M, Voshaar R, Van Deelen F, et al. The cardiac anxiety questionnaire: Cross-validation among cardiac inpatients. *Int J Psychiatry Med*. 2012;43(4):349-64
7. Cury RC, Leipsic J, Abbara S, et al. CAD-RADSTM 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). *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2022;4(4)
8. Reynolds HR, Smilowitz NR. Ischaemia with non-obstructive coronary arteries in the 2024 European Society of Cardiology guidelines for the management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J Acute Cardiovasc Care*. 2025;14(3):173-7
9. Tonino PAL, De Bruyne B, Pijls NH, et al. Fractional Flow Reserve versus Angiography for Guiding Percutaneous Coronary Intervention. Vol. 360, n engl j med. 2009
10. Pijls NH, Fearon WF, Tonino PA, et al. Fractional flow reserve versus angiography for guiding percutaneous coronary intervention in patients with multivessel coronary artery disease: 2-year follow-up of the FAME (Fractional Flow Reserve Versus Angiography for Multivessel Evaluation) study. *J Am Coll Cardiol*. 2010;56(3):177-84
11. De Bruyne B, Pijls NHJ, Kalesan B, et al. Fractional Flow Reserve-Guided PCI versus Medical Therapy in Stable Coronary Disease. *New England Journal of Medicine*. 2012;367(11):991-1001
12. Dweck MR, Chow MWL, Joshi NV, et al. Coronary arterial ^{18}F -sodium fluoride uptake: A novel marker of plaque biology. *J Am Coll Cardiol*. 2012;59(17):1539-48