

## OPTIMALISATIE DOOR MIDDEL VAN 4DCT EN F-18-CHOLINE PET/CT

# Preoperatieve beeldvorming bij patiënten met primaire hyperparathyreoïdie



Jorian Krol

**Primaire hyperparathyreoïdie (pHPT) is, ondanks de lage prevalentie, een van de meest voorkomende endocriene aandoeningen bij volwassenen. Meestal is sprake van een enkel adenoom. Preoperatieve lokalisatie is cruciaal, omdat minimaal invasieve parathyreoïdectomie de standaardbehandeling is. Dit proefschrift richt zich op optimalisatie van de beeldvorming, met nadruk op 4DCT en F-18-choline PET/CT.**

In de literatuur worden verschillende soorten beeldvormingstechnieken gebruikt, vaak in wisselende volgorde. Dit proefschrift beoogt om de preoperatieve beeldvorming efficiënter, nauwkeuriger en patiëntvriendelijker te maken.

## 4DCT als eerstelijnsonderzoek

In ons eerste onderzoek vergelijken we 4DCT als eerstelijnsmodaliteit met de conventionele combinatie van echografie en Tc-99m-sestamibi SPECT. In deze retrospectieve studie bij 105 patiënten zien we een hogere sensitiviteit voor 4DCT op zowel patiënt- als lokalisatieniveau (respectievelijk 70,6% vs. 51,9%,  $p = 0,049$  en 60,8% vs. 35,2%,  $p = 0,009$ ). Daarnaast is minder aanvullende beeldvorming nodig wanneer 4DCT als eerste onderzoek wordt ingezet. Dit ondersteunt de inzet van 4DCT als eerstelijnsalternatief voor de conventionele combinatie. F-18-choline PET/CT is het meest sensitieve aanvullende onderzoek bij de patiënten met een negatief eerste onderzoek.

## Dual-layer spectrale 4DCT

Het volgende onderzoek richt zich op de dual-layer spectrale 4DCT. Bij deze CT-techniek wordt spectrale informatie verkregen door te kijken naar de absorptie van verschillende energieniveaus. Dit maakt diverse reconstructies mogelijk, zoals Mono40 keV, iodine density, Z-effectieve, iodine no water en virtuele non-contrast (VNC). Theoretisch kan dit leiden tot betere weefseldifferentiatie tussen het bijschildklieradenoom en omliggende structuren, zoals lymfeklieren en de schildklier. Onze data laten echter zien dat deze spectrale reconstructies geen hogere nauwkeurigheid

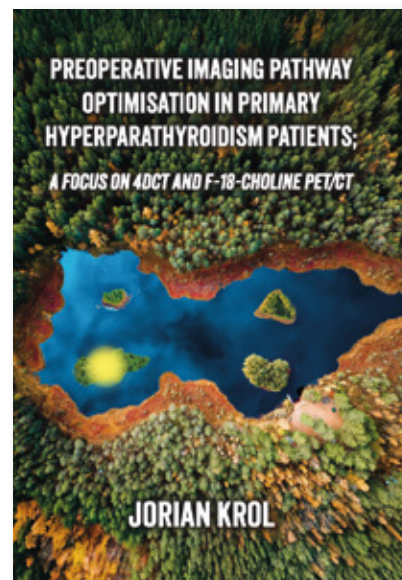
bieden dan conventionele CT-beelden. Het visuele onderscheid tussen de bijschildklier en schildklier blijft met de standaardreconstructies het meest duidelijk.

Het volgende deel van het onderzoek richt zich op de VNC-reconstructie. Dit is een virtuele reconstructie van een contrastfase, waarbij het contrast via een algoritme wordt verwijderd. In theorie kan de VNC de blanco fase vervangen, waardoor één scanfase kan worden bespaard. Onze resultaten laten echter zien dat de VNC inconsistent is en ook het van nature aanwezige jodium in de schildklier onderdrukt. Dit leidt tot minder contrast tussen de bijschildklier en schildklier, wat VNC geen geschikt alternatief voor de echte blanco fase maakt. Op basis hiervan concluderen wij dat dual-layer spectrale 4DCT geen toegevoegde klinische waarde heeft voor de preoperatieve beeldvorming bij pHPT.

## Multireader-multicase-studie

Ons volgende onderzoek gaat over de fasereductie van de 4DCT. Hoewel 4DCT een goed eerste onderzoek is, vormt de relatief hoge stralingsbelasting een nadeel. In het Rijnstate Ziekenhuis hebben we een vierfasenprotocol gebruikt, bestaande uit een blanco, arteriële, veneuze en laat-veneuze fase. In de literatuur worden uiteenlopende combinaties beschreven, maar het optimale protocol blijft onduidelijk. Bovendien is veel onderzoek uitgevoerd met zeer ervaren beoordelaars, die minder fasen nodig hebben.

In een multireader-multicase-studie hebben we onderzocht of een verkort protocol, dat minder straling vereist, nog steeds dezelfde hoge diagnostische betrouw-



baarheid oplevert. Zeven ervaren en zes minder ervaren radiologen hebben verschillende fasencombinaties in vijf ronden beoordeeld. Voor de ervaren radiologen bleken alle fasencombinaties non-inferieur ten opzichte van het standaardprotocol. Dit ondersteunt een één- (arterieel) of tweefasenprotocol (blanco en arterieel). Voor de minder ervaren radiologen is het driefasenprotocol (blanco, arterieel en veneus) non-inferieur aan het standaardprotocol. Op basis van deze bevindingen kan de stralingsbelasting aanzienlijk worden verlaagd zonder verlies aan diagnostische kwaliteit. Dit verlaagt de drempel om 4DCT veilig en breder in de dagelijkse praktijk toe te passen.

## One-stop-shop

In een laatste onderzoek hebben we gekeken naar een combinatie van de twee-

## De promotiedag



Op 6 februari 2026 heb ik mijn proefschrift *Preoperative imaging pathway optimisation in primary hyperparathyroidism patients; a focus on 4DCT and F-18-choline PET/CT* succesvol verdedigd op de Universiteit Twente. Ik heb een prachtige dag gehad, met onder andere mooie discussies met de opponenten over het belang van optimaliseren en efficiëntie in de zorg.

Ik wil mijn promotieteam bedanken voor hun ondersteuning en vertrouwen. Daarnaast wil ik mijn familie, vrienden en mijn collega's in zowel het Rijnstate Ziekenhuis als het Zuyderland MC bedanken voor hun betrokkenheid en steun tijdens dit traject. Tot slot wil ik de opleidingsgroep radiologie in het Rijnstate Ziekenhuis bedanken, die het mogelijk heeft gemaakt dit onderzoek te combineren met mijn opleiding tot radioloog.

fasen-4DCT en de F-18-choline PET/CT als potentiële eerstelijnsmodaliteit. Nu krijgen patiënten verschillende soorten diagnostiek voor het lokaliseren van het bijschildklieradenoom, met wisselend succes. Dit betekent soms een negatieve uitslag van een onderzoek en een extra poliafspraak voor een herhaald onderzoek met lang wachten tussendoor als gevolg. Uiteindelijk resulteert dit vaak alsnog in een F-18-choline PET/CT, gezien de hoge sensitiviteit van het onderzoek.

De stralingsdosis van dit gecombineerde protocol is vergelijkbaar met een reguliere 4DCT en significant lager dan de meeste verschillende combinatiestrategieën waarbij meerdere afzonderlijke onderzoeken nodig zijn. Voor de patiënt betekent dit slechts één onderzoek, minder afspraken en een kortere wachttijd voor de operatie. Voor de radioloog/nucleair geneeskundige levert deze one-stop-shop-benadering alle benodigde informatie qua anatomie en metabole ac-

### Sterk en toekomstbestendig

Dit proefschrift laat zien dat 4DCT een sterke en toekomstbestendige eerstelijnsmodaliteit vormt bij de preoperatieve beeldvorming van pHPT. Zeker door gereduceerde fasenprotocollen toe te passen, afhankelijk van de ervaring van de radiologen, waarbij de stralingsdosis beperkt kan worden zonder in te leveren aan sensitiviteit. Dual-layer spectrale 4DCT biedt geen klinische meerwaarde in deze patiëntengroep. De gecombineerde F-18-choline PET/4DCT biedt echter wél een veelbelovende en patiëntvriendelijke nieuwe standaard en combineert hoge nauwkeurigheid en efficiëntie. ■

Horst, 10 april 2026

**dr. Jorian Krol**  
radioloog, Zuyderland Medisch Centrum

*Met veel dank aan mijn promotoren:*

prof. dr. ir. Kees H. Slump,  
Universiteit Twente  
prof. dr. Wim J.G. Oyen, Radboud  
Universiteit/Rijnstate Ziekenhuis

*en mijn copromotor:*

dr. Marie Louise E. Bernsen,  
Rijnstate Ziekenhuis

**‘Voor de patiënt betekent het one-stop-shop-concept slechts één onderzoek, minder afspraken en een kortere wachttijd voor de operatie’**

Het idee om de 4DCT en F-18-choline PET/CT te combineren, integreert de anatomische informatie van de 4DCT en de hoge sensitiviteit vanuit de metabole informatie van de PET/CT in één onderzoek. Dit kan fungeren als ‘one-stop-shop-concept’, waarbij het adenoom met één onderzoek is te lokaliseren.

tiviteit, met een hoge sensitiviteit en een hoge locatiezekerheid. Voor de behandelaar biedt de benadering duidelijkheid in het diagnostisch traject en de preoperatieve planning. De one-stop-shop heeft hiermee de potentie om de workflow en patiëntbeleving aanzienlijk te vereenvoudigen.