

NIEUWE GENERATIE SCANNERS

Photon-counting CT in de praktijk



Judith van der Bie



Marcel van Straten



Ronald Booij



Pierluigi Ciet



Edwin Oei



Ricardo Budde

In 2021 is de photon-counting CT (PCCT)-scanner goedgekeurd voor klinische toepassingen. Het Erasmus MC is het eerste centrum in Nederland en een van de eerste drie centra wereldwijd die deze nieuwe CT-scanner in gebruik mocht nemen.

Wat maakt PCCT zo bijzonder?

PCCT onderscheidt zich van een conventionele CT-scanner met energie-integrerende detector (EID) door de nauwkeurigere detector. Deze fototellende detector heeft twee grote voordelen. Ten eerste is de spatiale resolutie een factor 2 tot 3 hoger met een coupedikte van 0,2 mm voor PCCT ten opzichte van 0,6 mm voor conventionele CT. Hierdoor kunnen kleinere details worden waargenomen. Naast de verbeterde spatiale resolutie worden de signalen van alle invallende fotonen per projectie afzonderlijk gemeten. Dit maakt geavanceerde spectrale (energieafhankelijke) reconstructies mogelijk, met voordelen zoals verbeterde materiaalcompositie, virtuele mono-energetische reconstructies en het verwijderen van elektronische ruis uit het uiteindelijke beeld. Virtuele mono-energetische beelden kunnen nuttig zijn om het contrast van bepaalde weefsels te verhogen/verlagen of om artefacten te reduceren.

Nadelen conventionele CT

Bij conventionele CT worden in de detector de fotonen eerst omgezet in zichtbaar licht met behulp van een scintillatiekristal. Daarna wordt dit licht omgezet in een elektrisch signaal. Deze methode van signaaldetectie kent twee significante nadelen.

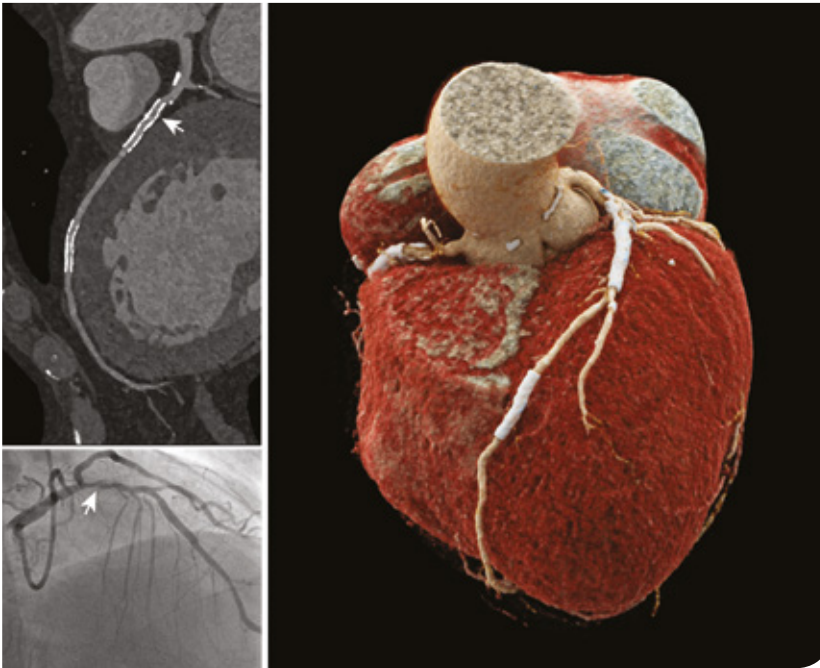
Allereerst moeten detectorelementen gescheiden worden door tussenschotten omdat zichtbaar licht vrijkomt. Dit zijn reflecterende oppervlaktes die het licht binnen één detectorelement houden. Door deze tussenschotten ontstaan er dode ruimtes in de detector. Hoe kleiner de detectorelementen gemaakt worden, hoe hoger het percentage dode ruimte. De detector wordt geometrisch dan zo inefficiënt dat de toename in spatiale re-

solutie niet meer opweegt tegen de hiervoor benodigde stralingsbelasting.

Bovendien worden in een conventionele detector bij iedere projectie de signalen van meerdere fotonen bij elkaar opgeteld (geïntegreerd). Hierdoor dragen fotonen met een relatief hoge energie meer bij aan het uiteindelijke beeld dan de fotonen met een lagere energie. De laatstgenoemde fotonen geven juist contrast aan



Figuur 1. De PCCT-scanner in het Erasmus MC.



Figuur 2. Patiënt met twee stents in de mid- en distale left anterior descending (LAD) coronair arterie. Door de verhoogde spatiële resolutie in photon-counting CT (PCCT) kunnen de stents en het lumen scherp worden afgebeeld. In de mid LAD-stent is een significante stenose gevonden op de PCCT. De stenose is later bevestigd door coronaire angiografie. De stent in de distale LAD was wel doorgankelijk.

artefacten van calcificaties en stents, kunnen stenosen beter geïdentificeerd worden. Dit kan helpen in patiëntpopulaties met veel calcificaties en een hoog risicoprofiel, zoals patiënten met ernstige aortaklepstenose. Bovendien kan PCCT helpen bij het karakteriseren van atherosclerotische plaques in de bloedvaten. Het beter kunnen onderscheiden van verschillende plaquecomponenten en het beoordelen van het lumen kan in de toekomst de bepaling van het risicoprofiel van patiënten optimaliseren.

Musculoskeletaal

PCCT levert zeer gedetailleerde beelden van botstructuren, inclusief kleine fracturen, osteochondrale afwijkingen en botdefecten. Het verbeterde contrast en de ultrahoge resolutie maken het mogelijk om de botstructuur gedetailleerd in beeld te brengen. Dat is essentieel bij het diagnosticeren van aandoeningen zoals osteoporose. De mogelijkheid tot spectrale reconstructies met hoge energieën vermindert metaalartefacten van orthopedische implantaten. Hierdoor ►

een beeld. Hierdoor is de beeldkwaliteit van conventionele CT suboptimaal.

Techniek achter PCCT

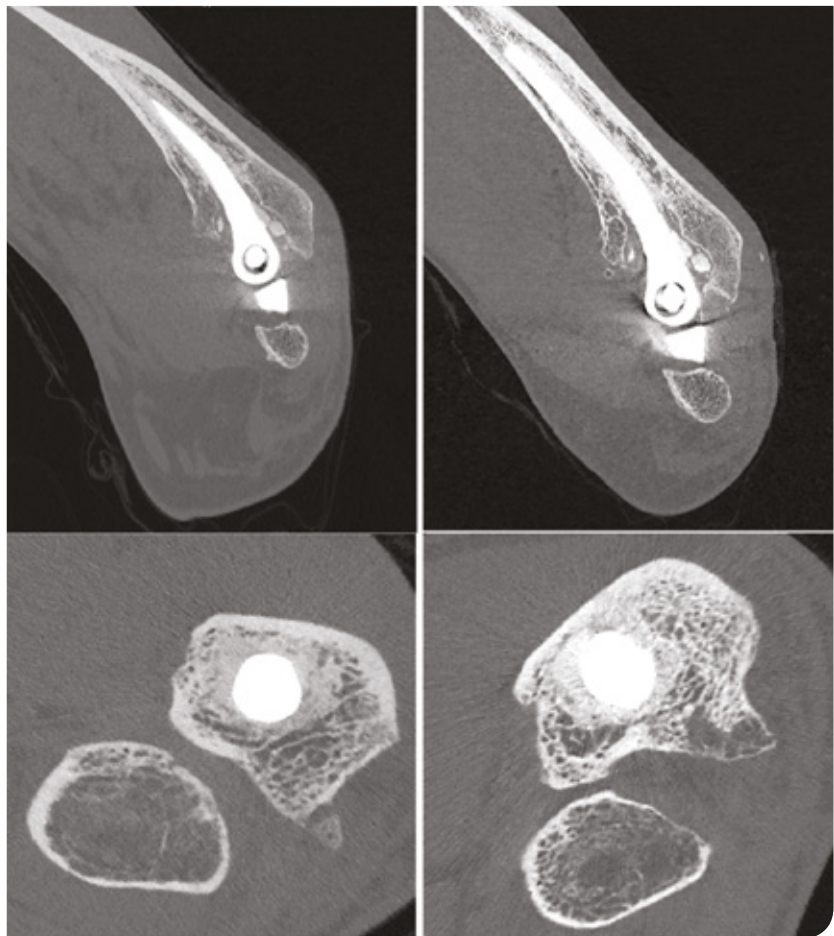
PCCT maakt gebruik van een detector gebaseerd op een halfgeleider, een materiaal dat fotonen direct omzet in een elektrisch signaal zonder de vorming van zichtbaar licht. Hierdoor vervallen de hiervoor genoemde nadelen. Er zijn namelijk geen schotten tussen de detectorelementen meer nodig. Deze eigenschap maakt een verbetering van de spatiële resolutie in de beelden mogelijk zonder een verslechtering van de detectorefficiëntie. Verder worden de fotonen in een PCCT-detector ieder afzonderlijk gemeten. Het signaal is proportioneel aan de energie van het invallende foton. Hierdoor kan voor verschillende energieniveaus geteld worden hoeveel fotonen de detector bereiken. Daardoor worden spectrale reconstructies mogelijk die gebruikmaken van de energieafhankelijkheid van de röntgenverzwakking.

Klinische toepassing

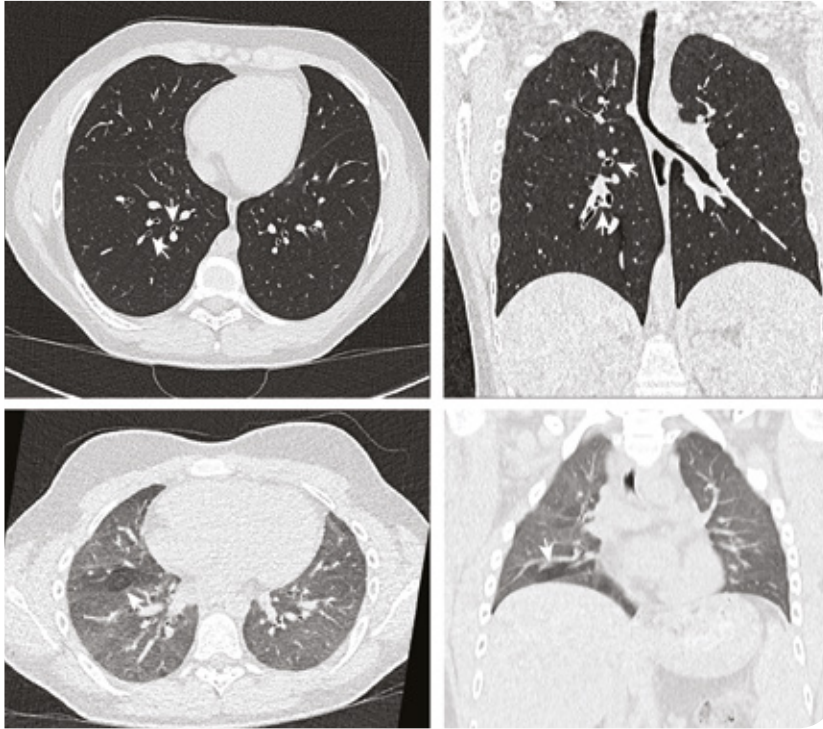
In alle aandachtsgebieden zijn veelbelovende toepassingen voor PCCT te vinden. Enkele voorbeelden:

Cardiovasculair

PCCT kan de kransslagaders nauwkeurig visualiseren. Dankzij de hogere resolutie en hierdoor verminderde blooming



Figuur 3. Patiënt met elleboogprothese twee keer gescand op een PCCT-scanner. Eerste kolom toont beelden gemaakt met tin-filter; hierbij geeft het implantaat minder artefacten. De tweede kolom toont scans zonder tin-filter, waardoor het botcontrast hoger is. Beide scans zijn gemaakt met ultrahoge resolutie, wat terug te zien is in de gedetailleerde weergave van de botstructuur.



Figuur 4. 17-jarig kind met cystic fibrosis gescand met een totale $CTDI_{vol}$ van 1,15 mGy (inspiratie = 0,76 mGy, expiratie = 0,39 mGy). Dit dosisniveau is bepaald aan de hand van fantoomtesten. Sterk afgegrensd tubulaire centrale bronchiëctasiëen worden afgebeeld met een verlaagde dosis. Op de expiratie-opname enkele subsegmentale gebieden van hypoattenuatie met name basaal rechts passend bij airtrapping.

zijn complicaties zoals loslating beter te beoordelen.

Hoofd-halsradiologie

Beeldvorming van het rotsbeen, met name bij het visualiseren van de gehoorbeentjes en halfcirkelvormige kanalen, blijft een aanhoudend probleem in de radiologie. De ultrahoge resolutiemodus van PCCT maakt het mogelijk om zelfs de kleinste anatomische structuren effectief te onderscheiden en dit kan met name bij het beoordelen van meer uitdagende pathologieën, zoals een cholesteatoom, een voordeel bieden.

Kinderradiologie

De interesse in PCCT-scans binnen de kinderradiologie groeit snel, voornamelijk vanwege de verbeterde resolutie en de mogelijke vermindering van stralingsdosis en contrasttoediening. De hoge resolutie heeft een aanzienlijke impact op het opsporen van ziekten, vooral bij jonge kinderen, met name jonger dan 5 jaar. De verhoogde beeldkwaliteit wordt duidelijk gewaardeerd bij CT-onderzoeken zoals CT os petrosum, CT schedel voor craniosynostose en CT thorax blanco voor interstitiële longziekten bij kinderen. De toegenomen prevalentie van CT-scans bij kinderen in de afgelopen decennia roept vragen op over mogelijke langetermijn-

effecten van ioniserende straling bij deze patiëntengroep. Met de verbeterde resolutie van PCCT is het mogelijk dezelfde beeldkwaliteit te behalen als met conventionele CT, maar met een lagere stralingsbelasting. Bovendien kan met spectrale reconstructies het contrastmidsignaal worden versterkt, zelfs bij het gebruik van kleinere hoeveelheden contrastmiddel.

PCCT in het Erasmus MC

PCCT biedt ook nieuwe mogelijkheden voor wetenschappelijk onderzoek. Momenteel lopen diverse onderzoeksprojecten in het Erasmus MC naar fysisch-technische prestaties en de toepassingen van PCCT zoals:

1. Beoordelen van coronaire stentdoor-gankelijkheid met behulp van PCCT vergeleken met hartkatherisatie.
2. Beoordelen van de diagnostische accurateid van botmineraaldichtheid (BMD)-data verkregen met behulp van PCCT en correlatie met DEXA.
3. Beoordelen van de nauwkeurigheid van PCCT om osteochondritis dissecans (OCD) te classificeren en losse elementen te lokaliseren in vergelijking met MRI en met bevindingen tijdens elleboog- en kniearthroscopie als referentiestandaard.

4. Beoordelen van de optimale beeldvorming voor de visualisatie van het bot-implantaat-interface van acetabulum cup-implantaten met behulp van PCCT in een klinische setting.
5. Beoordelen van de verbetering in ziektedetectie en -kwantificatie bij kinderen met bronchopulmonale dysplasie (BPD), taaislijmziekte en astma.
6. Beoordelen verbeteringen in spatiale resolutie, signaal-ruisverhouding, contrast-ruisverhouding en stralingsdosis tussen PCCT en conventionele CT bij patiënten met taaislijmziekte, BPD en astma.
7. Standaardiseren van het CT-protocol voor kinderen tussen Europese kinderziekenhuizen namens de *European Society of Pediatric Radiology*.

Beginfase

Het gebruik van PCCT bevindt zich nog in de beginfase. Er wordt voortdurend onderzoek verricht om deze technologie te verfijnen en uit te breiden naar verschillende klinische toepassingen. Het betreft een veelbelovende vooruitgang binnen de medische beeldvorming, met het potentieel om de zorg voor patiënten te verbeteren en diagnoses nauwkeuriger te stellen.

Inmiddels is de hier beschreven PCCT-scanner ook operationeel in het UMCG en MUMC. Binnen afzienbare termijn zullen ook enkele andere ziekenhuizen in Nederland volgen. Daarnaast neemt het Erasmus MC dit voorjaar een tweede PCCT-scanner in gebruik. Deze komt in het Sophia Kinderziekenhuis, zodat ook de pediatrie patiënten gemakkelijk toegang hebben tot de techniek. Het Erasmus MC is dan het eerste ziekenhuis in Europa met een PCCT-scanner in een kinderziekenhuis.

Judith van der Bie

promovendus, klinisch technoloog

Marcel van Straten

klinisch fysicus

Ronald Booij

post doc onderzoeker, CT-laborant

Pierluigi Ciet

kinder- en thoraxradioloog

Edwin Oei

hoogleraar MSK-beeldvorming

Ricardo Budde

hoogleraar cardiovasculaire radiologie