

# De toegevoegde waarde van Klinisch Technologen voor de Nucleaire Geneeskunde

Prof. L.F. de Geus-Oei, MD, PhD<sup>1,2</sup>; prof. K. Slump, PhD<sup>2</sup>; prof. J. Harlaar, PhD<sup>3,4</sup>; W. Grootjans, PhD<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Afdeling Radiologie, Leids Universitair Medisch Centrum, <sup>2</sup>TechMed Center, Universiteit Twente, <sup>3</sup>Afdeling Biomechanical Engineering, Technische Universiteit Delft, <sup>4</sup>Afdeling Orthopedie, Erasmus MC, Rotterdam

## Het bestaansrecht van de Klinisch Technoloog cq. Technisch Geneeskundige

### Het politieke discours

De afgelopen jaren is er veel aandacht van de overheid voor technische innovaties in de gezondheidszorg. Zo bericht zij onder andere dat Nederland voorop loopt in het door ontwikkelen van medische technologie o.a. door de goede samenwerking tussen technische universiteiten, universitair medische centra en het bedrijfsleven (1). Een reeks aan verantwoordelijke ministers heeft in de afgelopen 10 jaar een warm pleidooi gehouden voor deze lijn. Een kleine greep uit hun uitlatingen hierover in het openbaar: Minister De Jonge zei onlangs: "Om de zorg ook op lange termijn betaalbaar en toegankelijk te houden, is het onontkoombaar dat we het anders gaan organiseren. 'Anders organiseren' betekent onder meer vol inzetten op preventie en maximaal gebruikmaken van technologie"(2). In een kamerbrief uit april 2019 schreef toenmalig minister Bruins dat hij "voor een meer proactieve en samenhangende benadering kiest van vraagstukken op het gebied van MedTech", waarvan hij bovendien vindt "dat die tot nu toe nog gefragmenteerd in verschillende programma's, akkoorden en actieplannen geadresseerd worden". Hij geeft aan een belangrijke rol weggelegd te zien voor de overheid om op alle stadia van de 'levenscyclus' van MedTech, acties te ondernemen. Hieruit volgend zal een actieplan uitgewerkt worden in de vorm van

een "nationale agenda MedTech 2020-2024." Hij zei verder: "Eén ding is zeker: de gezondheidszorg zal hierdoor veranderen"(3). Ook zijn voorganger, minister Schippers investeerde in 2015 reeds in technische innovaties. Ze vond dat slimme innovaties nodig waren om de zorg beter te maken en tegelijkertijd betaalbaar te houden. Ze schreef: "Gezondheidszorg wordt goedkoper naarmate diagnostiek beter wordt"(4). En in 2008 schreef de toenmalige inspecteur-generaal hierover het volgende: "De gezondheidszorg wordt beter door de toepassing van nieuwe medische technologie maar is daar steeds afhankelijker van. De technologische ontwikkelingen gaan razendsnel. De kansen en risico's zijn nog niet met elkaar in balans"(5). Hieruit vloeide de behoefte voort aan meer technisch geneeskundigen c.q. klinische technologen. Zij vergemakkelijken de introductie van technologische vernieuwingen in de zorg op weg naar de gezondheidszorg van de toekomst.

### De academische inbedding

Na de succesvolle introductie van de nieuwe studie Technische Geneeskunde aan de Universiteit Twente in Enschede (6), startte dan ook in 2014 aan de TU Delft, LUMC en ErasmusMC (7) eenzelfde studie, Klinische Technologie genaamd. De studie is aan beide universiteiten populair. Per jaar melden zich zo'n 850 eindexamenkandidaten voor de selectieprocedure, waarvan 250 kandidaten geplaatst kunnen worden. De studie kent een 3-jarige bachelor

en een 3-jarige masterfase. In de masterfase kan gekozen worden voor een specialisatierichting in "Medical Imaging & Interventions" of in "Medical Sensing & Stimulation". Tijdens het master II en master III jaar lopen de studenten meerdere stages op klinische afdelingen en dragen zij bij aan researchprojecten van medisch technische aard. Deze klinische technologie studenten zijn zeer aantrekkelijk voor de nucleaire geneeskunde. Nucleaire geneeskunde is multidisciplinair van karakter en medisch-technisch van aard. Er wordt op een internistische manier gekeken naar ziekteprocessen, waarbij niet alleen pathofysiologische, biochemische en anatomische kennis van belang is, maar tevens spelen klinisch fysici, MBBers, radiochemici, analisten, ziekenhuisapothekers en ICT-deskundigen een grote rol bij de totstandkoming van de nucleair geneeskundige diagnostiek en therapieën. Tussen al deze medisch-technische disciplines is de klinisch technoloog de verbindende schakel. De klinisch technoloog heeft bij uitstek een opleiding gevolgd die de verschillende werelden verstaat en de nucleair geneeskunde kan daar enorm van profiteren. Klinisch technologen kunnen bijvoorbeeld vanuit de klinische vraag algoritmen op maat uitdenken en omzetten in programmatuur, ze kunnen vervolgens de effectiviteit ervan direct op de patiënt testen, om in enkele iteraties deze programmatuur en tools te valideren. Ze spreken net zo makkelijk met de patiënt, als dat zij computertaal lezen, of spreken in het jargon van

artsen en technici. Niet voor niets werd deze opleiding meerdere malen beloond met het predicaat "topopleiding van het jaar"(8).

### **Erkenning van het beroep klinisch technoloog**

Het goede nieuws is dat vanaf 1 juli 2020 de klinisch technoloog, definitief is opgenomen als artikel-3 beroep in de wet BIG (9). De klinisch technoloog is daarmee een wettelijk erkend zorgprofessional en een beschermde titel. De klinisch technoloog is wettelijk bevoegd tot het zelfstandig indiceren, delegeren en verrichten van voorbehouden handelingen (heelkundige handelingen, katheterisaties, injecties, puncties, handelingen met ioniserende straling). Naast deze vijf voorbehouden handelingen mag de klinisch technoloog risicovolle handelingen uitvoeren. Ook kunnen andere voorbehouden handelingen uitgevoerd worden onder de opdrachtregeling. Hierbij geldt uiteraard steeds dat de klinisch technoloog, net als de arts, bekwaam dient te zijn voor het uitvoeren van de handelingen. De klinisch technoloog is momenteel nog niet bevoegd tot het voorschrijven van medicatie en zelfstandig indiceren van de overige voorbehouden handelingen. Onder de wettelijke deskundigheid van de klinisch technoloog valt: het optimaliseren van bestaande technisch medische handelingen, het ontwerpen en ontwikkelen van nieuwe diagnostische methoden en therapieën met behulp van technologie én het verrichten van complexe technisch medische handelingen binnen het technisch medische deelgebied van de geneeskunde waarin de klinisch technoloog is opgeleid. De Nederlandse Vereniging voor Technische Geneeskunde (NVvTG) voert een kwaliteitsregister ter bevordering en bewaking van de kwaliteit van het beroep (10). Het



*Figuur 1.* Alina van de Burgt, klinisch technoloog, is verantwoordelijk voor de implementatie van nieuwe technieken in de kliniek op de afdeling Nucleaire Geneeskunde van het Alrijne Ziekenhuis te Leiderdorp. Ze houdt zich bezig met het introduceren van nieuwe tracers in de kliniek, wetenschappelijk onderzoek en het optimaliseren van PET-CT beeldvorming (waaronder myocardperfusie onderzoek met <sup>82</sup>Rb PET/CT zoals te zien op deze foto). Ze werkt samen met verschillende medisch specialisten, MBB-ers en klinisch fysici. Daarnaast werkt ze nauw samen met fabrikanten en universitair medische centra.

kwaliteitsregister maakt de kwaliteit van de beroepsuitoefening van klinische technologie transparant en toetsbaar. Geregistreerde klinisch technologen bewijzen op deze manier dat zij actief zijn (geweest) en investeren in het verwerven en onderhouden van kennis en vaardigheden die van belang zijn voor de kwaliteit van de beroepsuitoefening.

### **Klinisch Technologisch onderzoek binnen de nucleaire geneeskunde**

De ontwikkelingen in de moleculaire biologie en *precision medicine* zijn richtingbepalend voor de geneeskunde en dus ook voor de nucleaire geneeskunde. Het proces van het ontrafelen van de moleculaire basis van ziekte roept op haar beurt weer nieuwe vragen op. Om deze vragen te kunnen beantwoorden is beeldvorming nodig. Voor de specifieke eisen die daarbij gesteld worden aan beeldvorming is technologische innovatie noodzakelijk.

Het grote voordeel van moleculaire beeldvorming met radionucliden is dat biologische processen in vivo gekarakteriseerd en gekwantificeerd kunnen worden op moleculair niveau, zonder deze processen te verstoren. Op deze manier kan op een non-invasieve manier een *whole body image* verkregen worden, die te herhalen is op meerdere momenten in de tijd. Door de introductie van *personalized medicine* is het primaire focus van de beeldvorming verplaatst van detectie en diagnose naar karakterisering van het biologisch gedrag of de agressiviteit van ziekte (prognose), voorspellen van de respons op therapie (predictie), en het meten van het behandelingseffect (respons). Er is een daadwerkelijke transitie in imaging gaande van anatomisch naar moleculair. Klinisch technologen bieden in deze transitie meerwaarde op allerlei terreinen.

Meerdere master II, master III en PhD projecten werden inmiddels verricht op het gebied van optimalisering

en validering van kwantitatieve PET en SPECT technieken toegepast op zowel bestaande tracers als ten behoeve van de ontwikkeling van nieuwe kwantitatieve *imaging biomarkers*. Absolute kwantificatie methoden in de preklinische setting werden ontwikkeld t.b.v. *small-animal* PET, kwantificatie t.b.v. de bepaling van de mate en heterogeniteit van *target* expressie in patiënten werd bestudeerd en kwantificatie t.b.v. therapie response monitoring was onderwerp van onderzoek (11-45). Hierbij werden niet alleen oncologische therapieën geëvalueerd (zoals chemotherapie, *targeted therapy*, immunotherapie, radiotherapie, radionuclidetherapie), maar ook anti-ischemische therapieën bij coronairlijden (46-52) (figuur 1). Er werd gekeken naar het effect op verschillende processen zoals metabolisme, proliferatie, angiogenese, perfusie en hypoxie. Tevens werden combinaties van parameters in multimodale setting bestudeerd: *multiparametric mapping* genaamd. Men was bijvoorbeeld geïnteresseerd in de combinatie van PET met DCE-MRI en/of DWI-MRI en ook in de klinische toepassingen van PET/MRI in het algemeen (53-58). In oncologische projecten waren niet alleen de tumoren zelf het onderwerp van interesse maar ook het micromilieu van tumoren werd geanalyseerd. En bij kwantitatieve studies was men zowel geïnteresseerd in de mate van *target* expressie, de mate van activiteit van een biologisch proces, alsook in de omvang van het gebied van interesse. Derhalve was niet alleen verbetering in kwantificatie in de mate van uptake het onderwerp van onderzoek, maar vonden ook verbeteringen in volume bepalingen met verschillende technieken plaats.

Voorts waren er een aantal master II, master III en PhD projecten op het gebied van *artificial intelligence* en



*Figuur 2.* Linda de Wit - van de Veen, sinds 2012 werkzaam eerst als postdoc, en vervolgens als klinisch technoloog bij de afdeling nucleaire geneeskunde van het Antoni van Leeuwenhoek. Ze is verantwoordelijk voor de klinische implementatie en optimalisatie van (nieuwe) camerasystemen op de afdeling. Daarnaast coördineert ze diverse wetenschappelijke projecten op de afdeling. Haar eigen wetenschap focust zich op Immuno-PET en dosimetrie bij nucleaire therapieën. Binnen de kliniek doet ze de radioembolisatie procedures, waarbij ze zowel de verslaglegging, toedieningen als de dosimetrie zelfstandig uitvoert. Bron foto: <https://www.pallasreactor.com/media/pallas-in-beeld-editie-3/>.

*radiomics* (59-64). Er blijkt behoefte aan tools om automatisch te kunnen segmenteren en kwantificeren. De accuratesse en stabiliteit van *radiomic features* in multimodale setting werd bestudeerd aan de hand van fantoom studies. Verder werden statische, parametrische en dynamische  $^{18}\text{F}$ -FDG PET radiomics bestudeerd in een populatie van longkankerpatiënten. Aangezien dit onderwerp momenteel helemaal hot is, verwachten wij hier in de directe toekomst meer van te zien. We zien aanmeldingen van nieuwe multidisciplinaire master III onderzoekslijnen, waarbij men op zoek is naar predictiemodellen waarvoor meerdere parameters worden gecombineerd. Hierbij moet men denken aan *imaging* parameters, lab bepalingen, histopathologische-, genetische-, klinische parameters etc. Verder is er veel oog voor ontwikkeling, evaluatie en bestudering van de klinische impact van nieuwe technieken maar ook zijn er innovaties aan bestaande apparatuur (65-89). Functionele MRI/MRS en

beeldvorming met radionucliden zijn op dit moment de enige *imaging* modaliteiten die op een unieke gedetailleerde zeer sensitieve manier kwantitatieve informatie kunnen genereren van moleculaire processen in picomolaire concentraties, zonder daarbij het biologisch proces te verstoren. Bij de technische innovatie van apparatuur is er derhalve een nimmer verminderende behoefte aan verbetering van de sensitiviteit (met behoud van specificiteit) en temporele resolutie van systemen en de verbetering van kwantitatieve accuratesse. Met name doordat steeds meer specifieke targets *geimaged* worden, moet men rekening houden met lage concentraties van tracerbinding aan het *target* en dus een laag output signaal. Telkens denken we dat de verbetering aan detectoren zijn grens bereikt heeft, maar dan is er even zo vaak een nieuwe vinding. Ook op het gebied van tomograaf design en beeldreconstructie methoden blijkt nog steeds winst te behalen (figuur





*Figuur 3.* Daphne Huizing is klinisch technoloog met een focus op radionuclide therapie in het Antoni van Leeuwenhoek. Ze is betrokken bij de klinische introductie, optimalisatie en onderzoek rondom radionuclide therapieën, zoals <sup>177</sup>Lutetium-gelabelde peptiden en radioembolisatie (SIRT). Hierbij werkt ze aan zowel imaging als klinische protocollen in nauwe samenwerking met diverse medisch specialisten, MBB-ers, technisch geneeskundigen en klinisch fysici. Daarnaast houdt ze zich bezig met de klinische uitvoering van de therapieën, zoals poligesprekken, toedieningen, dosisberekeningen en verslaglegging van de posttherapiescans.

2). Daarnaast is men voortdurend op zoek naar de combinatie van moleculaire en functionele informatie en optimale anatomische informatie. Verder is er behoefte aan real time informatie, bijvoorbeeld tijdens operaties in hybride OK's. Hiervoor is er behoefte aan "portable systems". Er werden derhalve meerdere projecten op dit gebied uitgevoerd, betreffende digitale PET, kwantitatieve SPECT, interventionele nucleaire geneeskunde en *image guided surgery*. Het onderzoek vond niet alleen op de scanners plaats, maar ook op de interventiekamer en op de operatiekamer werd onderzoek verricht met *portable devices* (90-108).

Bij de introductie van nieuwe technieken en met name ook van nieuwe hybride technieken, introduceren we regelmatig nieuwe artefacten. Maar ook bij bestaande technieken is behoefte aan een nog betere beeldkwaliteit, zonder de storende effecten van bijvoorbeeld metaalartefacten. Verder valt er nog veel te winnen op het gebied van mismatch tussen PET en CT of PET en MRI. Er werden derhalve door studenten klinische technologie meerdere onderzoeksprojecten uitgevoerd op het gebied van bewegingscorrectie: bewegingscorrectie t.g.v. de ademhaling, de hartslag en t.g.v. bulkbeweging tijdens het vervaardigen van de scans (109-119).

Verder is in de projecten van klinisch technologen aandacht voor de toenemende zorgen over de hoeveelheid aan stralingsbelasting die een patiënt gedurende zijn leven ontvangt ten gevolge van diagnostiek (120-128). Met name bij cardiovasculaire aandoeningen en kanker wordt heel veel beeldvorming gedaan. Zeker nu deze ziekten in veel gevallen tot de chronische aandoeningen zijn gaan behoren moeten we zorgvuldigere afwegingen

maken bij het toepassen van imaging. In geval van gelijke geschiktheid moeten we de keuze gaan maken voor echografie, MRI en *optical imaging*. Als die gelijke geschiktheid niet het geval is dan moeten we streven naar de laagste dosis van het radiofarmacon met behoud van beeldkwaliteit bij acceptabele scantijden. Verder moet de CT stralingscomponent zo laag als mogelijk gehouden worden, dat kan o.a. met iteratieve CT reconstructie. En bij SPECT moet steeds een zorgvuldige afweging gemaakt worden of CT een toegevoegde waarde heeft. Alternatieve reconstructie methoden kunnen attenuatiecorrectie uitvoeren zonder de CT, zoals Time-of-flight MLAA reconstructie, dat is beeldreconstructie met 2 onbekenden (attenuatie en activiteitsdistributie).

In de nucleaire geneeskunde is er momenteel een groei te zien in het aantal beloftevolle nieuwe theranostics, waarbij diverse tracers die voor diagnostiek gebruikt kunnen worden, ook gelabeld zouden kunnen worden met een radionuclide voor therapie (figuur 3). Voorafgaand aan therapie kan men met het diagnostische radionuclide dosimetrie bedrijven, waardoor een betrouwbare schatting gedaan kan worden van de benodigde dosis (*pre-treatment dosimetry*). Direct na therapie kan imaging de dosis berekenen die het te behandelen weefsel daadwerkelijk bereikt heeft (*post-treatment dosimetry*). Men noemt dit ook wel *personalized dosimetry*. Dit onderwerp is interessant omdat op die manier een dosis-respons relatie berekend zou kunnen worden. Met het groeiend aantal theranostics is er een groeiende behoefte om het radiatie effect op microscopisch niveau te kunnen kwantificeren, zogenaamde *microdosimetry*. Dit is ook nadrukkelijk te zien aan het aantal klinisch technologische projecten op het gebied van dosimetrie (129-136).



*Figuur 4.* Pim Hendriks is klinisch technologe en promovendus op de afdeling Radiologie van het LUMC. Hij doet onderzoek naar de niet-chirurgische behandeling van *early stage* hepatocellulair carcinoom. Deze foto is gemaakt tijdens de eerste toediening van Ho-166 QuiremSpheres radioembolisatie in het LUMC. Deze behandeling werd gedaan in het kader van de HORA EST HCC studie, waarin de radioembolisate adjuvant wordt toegediend na ablatie van een hepatocellulair carcinoom.

Op basis van moleculaire beeldvorming kan radiotherapieplanning mogelijk nauwkeuriger uitgevoerd worden, waardoor radioresistente delen van de tumor een hogere dosis krijgen, terwijl gezonde weefsels zoveel mogelijk gespaard worden. Dit alles zal moeten leiden tot een betere lokale controle, een vermindering van de toxiciteit en een verlenging van de overleving. Op basis van imaging kan besloten worden dosis escalatie toe te passen waar nodig en besparend te werk te gaan indien agressief ingrijpen overbodig is. Dit helpt negatieve lange termijn effecten te verminderen. Met name met de introductie van protontherapie is er nog meer aandacht ontstaan voor het sparen van normaal weefsel. We gaan richting *risk adapted and response adapted protocols*. Dat

PET de laatste jaren steeds meer ingezet wordt voor multimodale radiotherapieplanning was duidelijk te zien in de onderwerpen van klinisch technologische onderzoeksprojecten (137-143).

### **Inbedding van de klinische technologie in de klinische praktijk van de radiologie en nucleaire geneeskunde**

Klinisch technologen die momenteel binnen de gezondheidszorg werkzaam zijn bestrijken een breed palet aan verschillende functies. Zij zijn zowel betrokken bij het leveren van directe klinische zorg, als bij het onderwijs, de continue update c.q. doorontwikkeling van het curriculum klinische technologie, als bij wetenschappelijke ontwikkeling en implementaties van nieuwe technologische toepassingen. Naast

nieuwe technologie wordt er ook naar bestaande technologie en processen gekeken om de huidige zorg te optimaliseren en efficiënter te maken. In dit opzicht dragen klinisch technologen bij aan het vergroten van de waarde van de zorg. Waardetoevoeging wordt door de klinisch technologen bereikt door zowel patiëntuitkomst als kostenaspect te optimaliseren.

Essentieel voor het blijvende succes van de klinisch technoloog is inbedding in het huidige zorg systeem. Momenteel wordt dit deels gedaan door klinisch technologen op te leiden tot superspecialist binnen een specifiek deelvakgebied aan de hand van klinische fellowships (144). Het opleidingstraject van een klinisch technologische fellow heeft een duur van 2 jaar en wordt uitgevoerd aan de hand van een vooropgesteld individueel opleidingsplan. Na deze 2-jarige opleiding zal de klinisch technoloog zich registreren als klinisch technologisch specialist in het kwaliteitsregister van de beroepsgroep. De laatste jaren zijn verschillende fellowships gestart en hebben de eerste klinisch technologen dit traject inmiddels afgerond. Inmiddels zijn er dan ook klinisch technologisch specialisten op het gebied van radiotherapieplanning, optimalisatie van de inzet van state-of-the-art beademingstechnieken, het printen van patiënt specifieke implantaten in combinatie met 3D print technieken. Deze klinisch technologisch specialisten hebben in zowel academische als perifere ziekenhuizen een vaste aanstelling en dragen structureel bij aan het verbeteren van de gezondheidszorg. Ook binnen de beeldvormende vakgebieden zijn er fellows klinische technologie van start gegaan waarvan enkelen inmiddels succesvol gebrevetteerd zijn. Zo zijn er klinisch technologisch specialisten op het gebied van lokale behandeling van

prostaatcancer met ablatietechnieken en gaat er een klinisch fellow van start die zich toelegt op de optimalisatie van oncologische beeldgeleide interventies (figuur 4). De klinisch technologisch specialisten vullen binnen deze functies een belangrijke niche waar zij op zoek gaan naar technologische oplossingen voor klinische problemen en deze tevens proberen te implementeren in de klinische routine. In deze setting maken zij integraal deel uit van het behandelteam, waar hun specifieke expertise bijdraagt aan de klinische besluitvorming en technische uitvoering van de behandeling. Op deze wijze wordt gewaarborgd dat nieuwe technologie op een veilige, toetsbare en effectieve wijze ingezet kan worden. Daarnaast kan de klinisch technologisch specialist zorgen voor overdracht van deze specifieke kennis naar vakgenoten en andere disciplines.

Zoals hierboven reeds genoemd is naast gebruik en veilige implementatie van nieuwe technologie de klinisch technoloog verantwoordelijk voor het toevoegen van waarde aan de zorg. Dit heeft geresulteerd in het feit dat klinisch technologen niet alleen gespecialiseerde klinische vraagstukken beantwoorden, maar ook gericht zijn op bedrijfsvoering en managementtaken binnen afdelingen. De klinisch technologen binnen deze functies richten zich op vragen of bepaalde werkprocessen binnen een afdeling niet anders of effectiever ingericht kunnen worden. Daarnaast buigen zij zich over het vraagstuk of bepaalde technologieën weldegelijk aangekocht of doorontwikkeld moeten worden door in samenwerking met andere disciplines en bedrijven hiervoor economische modellen en simulaties te maken. De resulterende business cases kunnen dan door het management gebruikt worden om werkprocessen op haar eigen afdeling beter te sturen en betere besluitvorming rondom de

inzet van nieuwe technologie te maken.

Hoewel vraagstukken met betrekking tot gezondheidseconomie en management niet direct tot het portfolio van de klinisch technoloog behoren, zijn enkele klinisch technologen wel gespecialiseerd in dergelijke onderwerpen. Zo zijn enkele klinisch technologen in staat geweest om door middel van additionele cursussen en opleidingen zich verder te specialiseren in het systematisch analyseren van nieuwe technologieën en de verwachte effectiviteit hiervan. Op deze wijze kunnen zij bijdragen aan de evaluatie, optimalisatie en adequate besluitvorming in de zorg. Een van de voorbeelden van een dergelijke zorgoptimalisatie vindt plaats op de afdeling radiologie van het Leids Universitair Medisch Centrum. Recentelijk is hier een klinische beeldbewerkinggroep, genaamd de *imaging services group*, onder leiding van een klinisch technoloog opgericht. Deze groep heeft als doel om met behulp van gespecialiseerde laboranten de radiologische workflow efficiënter te maken en op gestandaardiseerde wijze kwantitatieve informatie door middel van beeldbewerkingen aan de radioloog te leveren. Daarnaast houdt deze groep zich bezig met het bewerkstelligen van taakdifferentiatie, waarbij laboranten gespecialiseerde taken van radiologen en nucleair geneeskundigen overnemen. Dit resulteert in effectievere werkprocessen met een meer gestandaardiseerde verslaglegging. Daarnaast richt de groep zich op ontwikkeling en implementatie van nieuwe technologie, waaronder automatisering van beeldbewerking en beoordeling met kunstmatige intelligentie toepassingen. Dit klimaat van continue ontwikkeling, implementatie en evaluatie wordt gecreëerd door



vruchtbare samenwerkingen met onderzoeksgroepen, ziekenhuizen en industriële partners en is een voorbeeld van een ultieme schakelfunctie die uitstekend past bij een klinisch technoloog.

Deze voorbeelden laten zien dat de klinisch technoloog langzamerhand zijn positie binnen het gezondheidsstelsel heeft weten te vinden. Deze divers opgeleide groep van specialisten zijn hard aan het werk om nieuwe technologie te implementeren en effectief te gebruiken. Hoewel inbedding van deze nieuwe beroepsgroep nog niet systematisch in de gezondheidszorg plaatsvindt, hebben de eerste klinisch technologen al relevante posities weten te bezetten.

[I.f.de\\_geus-oei@lumc.nl](mailto:I.f.de_geus-oei@lumc.nl) ♦

## Referenties

- <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/medische-hulpmiddelen/innovatie-in-medische-hulpmiddelen>
- <https://www.ictmagazine.nl/de-jonge-health-valley-maximaal-gebruik-technologie/>
- [https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven\\_regering/detail?id=2019Z08785&did=2019D17874](https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2019Z08785&did=2019D17874)
- <https://www.nu.nl/gezondheid/4138807/half-miljard-euro-innovaties-in-zorg.html>
- IGZ (2008). Staat van de Gezondheidszorg 2008: Risico's van medische technologie onderschat.
- <https://www.utwente.nl/onderwijs/bachelor/opleidingen/technische-geneeskunde/>
- <https://www.tudelft.nl/onderwijs/opleidingen/bachelors/kt/bsc-klinische-technologie/>
- <https://www.utwente.nl/nieuws/2020/10/812131/gouden-plak-voor-zes-ut-opleidingen>
- <https://www.bigregister.nl/actueel/nieuws/2020/03/18/klinisch-technoloog-nieuw-big-beroep>
- <https://www.nvvtg.nl/kwaliteitsregister/>
- Small-voxel reconstructions significantly influence SUVs in PET imaging. Koopman D, Jager PL, van Dalen JA. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46:1751-2
- Koopman D, van Osch JA, Jager PL, Tenbergen CJ, Knollema S, Slump CH, van Dalen JA. Technical note: how to determine the FDG activity for tumour PET imaging that satisfies European guidelines. *EJNMMI Phys*. 2016;3:22
- Huizing DMV, Koopman D, van Dalen JA, Gotthardt M, Boellaard R, Sera T, Sinaasappel M, Stokkel MPM, de Wit-van der Veen Multicentre quantitative <sup>68</sup>Ga PET/CT performance harmonisation. *BJEJNMMI Phys*. 2019;6:19
- van Dijk JD, Jager PL, van Dalen. The next step in standardizing SPECT myocardial perfusion imaging. *JA.J Nucl Cardiol*. 2019 Apr 10, online ahead of print
- Aalbersberg EA, de Wit-van der Veen BJ, Zwaagstra O, Codée-van der Schilden K, Vegt E, Vogel WV. Preclinical imaging characteristics and quantification of Platinum-195m SPECT. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017;44:1347-54
- Olde Heuvel J, de Wit-van der Veen BJ, Donswijk ML, Slump CH, Stokkel MPM. Day-to-day variability of [<sup>68</sup>Ga]Ga-PSMA-11 accumulation in primary prostate cancer: effects on tracer uptake and visual interpretation. *EJNMMI Res*. 2020;10:132
- Aalbersberg EA, Geluk-Jonker MM, Young-Mylvaganan T, de Wit-van der Veen LJ, Stokkel MPM. A Practical Guide for the Production and PET/CT Imaging of <sup>68</sup>Ga-DOTATATE for Neuroendocrine Tumors in Daily Clinical Practice. *J Vis Exp*. 2019;146
- Aalbersberg EA, Huizing DMV, Walraven I, de Wit-van der Veen BJ, Kulkarni HR, Singh A, Stokkel MPM, Baum RP. Parameters to Predict Progression-Free and Overall Survival After Peptide Receptor Radionuclide Therapy: A Multivariate Analysis in 782 Patients. *J Nucl Med*. 2019;60:1259-65
- Aalbersberg EA, de Wit-van der Veen BJ, Versleijen MWJ, Saveur LJ, Valk GD, Tesselaar MET, Stokkel MPM. Influence of lanreotide on uptake of <sup>68</sup>Ga-DOTATATE in patients with neuroendocrine tumours: a prospective intra-patient evaluation. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46:696-703
- van Brummelen EMJ, Huisman MC, de Wit-van der Veen LJ, Nayak TK, Stokkel MPM, Mulder ER, Hoekstra OS, Vugts DJ, Van Dongen GAMS, Verheul HM, Evers S, Tessier JLL, Saro J, Schellens JHM, Menke-van der Houven van Oordt CW. Oncotarget. <sup>89</sup>Zr-labeled CEA-targeted IL-2 variant immunocytokine in patients with solid tumors: CEA-mediated tumor accumulation and role of IL-2 receptor-binding. 2018;9:24737-49
- Samim M, Prevoo W, de Wit-van der Veen BJ, et al. <sup>18</sup>F-FDG PET as novel imaging biomarker for disease progression after ablation therapy in colorectal liver metastases. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2017 Jul;44(7):1165-75
- Siepel FJ, Dalen I, Grüner R, et al. Loss of Dopamine Transporter Binding and Clinical Symptoms in Dementia With Lewy Bodies. *Mov Disord*. 2016 Jan;31(1):118-25
- Siepel FJ, Brønneck KS, Booij J, et al. Cognitive executive impairment and dopaminergic deficits in de novo Parkinson's disease. *Mov Disord*. 2014 Dec;29(14):1802-8
- Lebedev AV, Westman E, Simmons A, et al. Large-scale resting state network correlates of cognitive impairment in Parkinson's disease and related dopaminergic deficits. *Front Syst Neurosci*. 2014 Apr 3;8:45
- Siepel FJ, Rongve A, Buter TC, et al. (<sup>123</sup>I)FP-CIT SPECT in suspected

- dementia with Lewy bodies: a longitudinal case study. *BMJ Open*. 2013 Apr 8;3(4):e002642
26. Auning E, Rongve A, Fladby T, et al. Early and presenting symptoms of dementia with lewy bodies. *Dement Geriatr Cogn Disord*. 2011;32(3):202-8
  27. Huizing DMV, Sinaasappel M, Dekker MC, et al. 177Lutetium SPECT/CT: Evaluation of collimator, photopeak and scatter correction. *J Appl Clin Med Phys*. 2020 Sep;21(9):272-7
  28. Huizing DMV, Aalbersberg EA, Versleijen MWJ, et al. Early response assessment and prediction of overall survival after peptide receptor radionuclide therapy. *Cancer Imaging*. 2020 Aug 10;20(1):57
  29. Gotthardt M, Eizirik DL, Aanstoot HJ, et al. Detection and quantification of beta cells by PET imaging: why clinical implementation has never been closer. *Diabetologia*. 2018 Dec;61(12):2516-9
  30. Imaging angiogenesis in patients with head and neck squamous cell carcinomas by [68Ga]Ga-DOTA-E-[c(RGDfK)]<sub>2</sub> PET/CT. Lobeek D, Rijpkema M, Terry SYA, Molkenboer-Kuening JDM, Joosten L, van Genugten EAJ, van Engen-van Grunsven ACH, Kaanders JHAM, Pegge SAH, Boerman OC, Weijs WLJ, Merks MAW, van Herpen CML, Takes RP, Aarntzen EHJG, Oyen WJG. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2020 Oct;47(11):2647-55
  31. Lobeek D, Bouwman FCM, Aarntzen EHJG, et al. A Clinical Feasibility Study to Image Angiogenesis in Patients with Arteriovenous Malformations Using 68Ga-RGD PET/CT. *Nucl Med*. 2020 Feb;61(2):270-5
  32. Kolk S, Klawer E, Visser E, et al. Symmetry and spatial distribution of muscle glucose uptake in the lower limbs during walking measured using FDG-PET. *PLoS One*. 2019 Apr 29;14(4):e0215276
  33. Lobeek D, Franssen GM, Ma MT, et al. In Vivo Characterization of 4 68Ga-Labeled Multimeric RGD Peptides to Image  $\alpha\beta 3$  Integrin Expression in 2 Human Tumor Xenograft Mouse Models. *Nucl Med*. 2018 Aug;59(8):1296-1301
  34. Willemsen AECAB, de Geus-Oei LF, de Boer M, et al. Everolimus Exposure and Early Metabolic Response as Predictors of Treatment Outcomes in Breast Cancer Patients Treated with Everolimus and Exemestane. *Target Oncol*. 2018 Oct;13(5):641-8
  35. Vlenterie M, Oyen WJ, Steeghs N, et al. Early Metabolic Response as a Predictor of Treatment Outcome in Patients With Metastatic Soft Tissue Sarcomas. *Anticancer Res*. 2019 Mar;39(3):1309-16
  36. Grootjans W, de Geus-Oei LF, Troost EG, et al. PET in the management of locally advanced and metastatic NSCLC. *Nat Rev Clin Oncol*. 2015 Jul;12(7):395-407
  37. Brom M, Woliner-van der Weg W, Joosten L, et al. *Diabetologia*. 2014 May;57(5):950-9
  38. Tixier F, Vriens D, Cheze-Le Rest C, et al. Comparison of Tumor Uptake Heterogeneity Characterization Between Static and Parametric 18F-FDG PET Images in Non-Small Cell Lung Cancer. *J Nucl Med*. 2016 Jul;57(7):1033-9
  39. Vriens D, Disselhorst JA, Oyen WJ, et al. Quantitative assessment of heterogeneity in tumor metabolism using FDG-PET. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012 Apr 1;82(5):e725-31
  40. Disselhorst JA, Vriens D, de Geus-Oei LF, et al. Shortened dynamic (18F)-FDG PET. *J Nucl Med*. 2011 Aug;52(8):1330
  41. Katiyar P, Divine MR, Kohlhofer U, et al. Spectral Clustering Predicts Tumor Tissue Heterogeneity Using Dynamic 18F-FDG PET: A Complement to the Standard Compartmental Modeling Approach. *J Nucl Med*. 2017 Apr;58(4):651-7
  42. Schoffelen R, van der Graaf WT, Sharkey RM, et al. Pretargeted immuno-PET of CEA-expressing intraperitoneal human colonic tumor xenografts: a new sensitive detection method. *EJNMMI Res*. 2012 Jan 27;2:5
  43. Arens AI, Troost EG, Hoeben BA, et al. Semiautomatic methods for segmentation of the proliferative tumour volume on sequential FLT PET/CT images in head and neck carcinomas and their relation to clinical outcome. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2014 May;41(5):915-24
  44. Klaassen R, Bennink RJ, van Tienhoven G, et al. Feasibility and repeatability of PET with the hypoxia tracer [(18F)HX4] in oesophageal and pancreatic cancer. *Radiother Oncol*. 2015 Jul;116(1):94-9
  45. Liu D, Steins A, Klaassen R, et al. Soluble Compounds Released by Hypoxic Stroma Confer Invasive Properties to Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. *Biomedicines*. 2020 Oct 22;8(11):E444
  46. van Dijk JD, Dotinga M, Jager PL, et al. Body weight-dependent Rubidium-82 activity results in constant image quality in myocardial perfusion imaging with PET. *J Nucl Cardiol*. 2019 Sep 4
  47. Koenders SS, van Dijk JD, Jager PL, et al. Impact of regadenoson-induced myocardial creep on dynamic Rubidium-82 PET myocardial blood flow quantification. *J Nucl Cardiol*. 2019 Jun;26(3):719-28
  48. Koenders SS, van Dijk JD, Jager PL, et al. How to detect and correct myocardial creep in myocardial perfusion imaging using Rubidium-82 PET? *J Nucl Cardiol*. 2019 Jun;26(3):729-34
  49. Koenders SS, van Dalen JA, van Dijk JD. The next step in improving (semi-)quantitative MPI PET. *J Nucl Cardiol*. 2020 Sep
  50. van Dijk JD, Jager PL, Ottervanger JP, et al. No need for frame-wise attenuation correction in dynamic Rubidium-82 PET for myocardial blood flow quantification. *J Nucl Cardiol*. 2019 Jun;26(3):738-45
  51. van der Veen L, Scholte A, Stok-



- kel M. Mathematical methods to determine quantitative parameters of myocardial 123I-MIBG studies: a review of the literature. *Nucl Med Commun.* 2010 Jul;31(7):617-28
52. van Dijk JD, Jager PL, van Osch JA, et al. Variation in Maximum Counting Rates During Myocardial Blood Flow Quantification Using 82Rb PET. *J Nucl Med.* 2017;58:518-9
  53. van Dijk JD, Shams MS, Ottervanger JP, et al. Coronary artery calcification detection with invasive coronary angiography in comparison with unenhanced computed tomography. *Coron Artery Dis.* 2017;28:246-52
  54. van Elmpt W, Das M, Hüllner M, et al. Characterization of tumor heterogeneity using dynamic contrast enhanced CT and FDG-PET in non-small cell lung cancer. *Radiother Oncol.* 2013;109:65-70
  55. Tomaszewski MR, Gehrung M, Joseph J, et al. Oxygen-Enhanced and Dynamic Contrast-Enhanced Optoacoustic Tomography Provide Surrogate Biomarkers of Tumor Vascular Function, Hypoxia, and Necrosis. *Cancer Res.* 2018;78:5980-91
  56. Mannheim JG, Schmid AM, Schwenck J, et al. PET/MRI Hybrid Systems. *Semin Nucl Med.* 2018;48:332-47
  57. Divine MR, Katiyar P, Kohlhofer U, et al. A Population-Based Gaussian Mixture Model Incorporating 18F-FDG PET and Diffusion-Weighted MRI Quantifies Tumor Tissue Classes. *J Nucl Med.* 2016;57:473-9
  58. Disselhorst JA, Bezrukov I, Kolb A, et al. Principles of PET/MR Imaging. *J Nucl Med.* 2014;55:2S-10S.
  59. Noortman WA, Vriens D, Grootjans W, et al. Nuclear medicine radiomics in precision medicine: why we can't do without artificial intelligence. *Q J Nucl Med Mol Imaging.* 2020;64:278-90
  60. Konert T, Everitt S, La Fontaine MD, et al. Robust, independent and relevant prognostic 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography radiomics features in non-small cell lung cancer: Are there any? *PLoS One.* 2020;15:e0228793
  61. Collarino A, Garganese G, Fragoni SM, et al. Radiomics in vulvar cancer: first clinical experience using 18F-FDG PET/CT images. *J Nucl Med.* 2019;60:199-206
  62. Disselhorst JA, Krueger MA, Ud-Dean SMM, et al. Linking imaging to omics utilizing image-guided tissue extraction. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2018;115:E2980-7
  63. Sanduleanu S, Jochems A, Upadhyaya T T, et al. Non-invasive imaging prediction of tumor hypoxia: a novel developed and externally validated CT and FDG-PET-based radiomic signatures. *Radiother Oncol.* 2020 Oct 30:S0167-8140(20)30852-5
  64. Noortman WA, Vriens D, Slump CH, et al. Adding the temporal domain to PET radiomic features. *PLoS One.* 2020;15:e0239438
  65. Koenders SS, van Dalen JA, Jager PL, et al. Value of SiPM PET in myocardial perfusion imaging using Rubidium-82. *J Nucl Cardiol.* s12350-020-02141-0
  66. van Dijk JD, Huizing ED, van Dalen JA, et al. Minimal starting time of data reconstruction for qualitative myocardial perfusion rubidium-82 positron emission tomography imaging. *Nucl Med Commun.* 2018;39:533-8
  67. Koopman D, van Dalen JA, Stevens H, et al. Performance of Digital PET Compared with High-Resolution Conventional PET in Patients with Cancer. *J Nucl Med.* 2020;61:1448-54
  68. Koopman D, Jager PL, Slump CH, et al. SUV variability in EARL-accredited conventional and digital PET. *EJNMMI Res.* 2019;9:106
  69. Koopman D, van Dalen JA, Arkies H, et al. Diagnostic implications of a small-voxel reconstruction for loco-regional lymph node characterization in breast cancer patients using FDG-PET/CT. *EJNMMI Res.* 2018;8:3
  70. van der Vos CS, Koopman D, Rijnsdorp S, et al. Quantification, improvement, and harmonization of small lesion detection with state-of-the-art PET. *EJNMMI.* 2017;44:4-16
  71. Koopman D, Groot Koerkamp M, Jager PL, et al. Digital PET compliance to EARL accreditation specifications. *EJNMMI Phys.* 2017;4:9
  72. Koopman D, van Dalen JA, Stigt JA, et al. Current generation time-of-flight (18)F-FDG PET/CT provides higher SUVs for normal adrenal glands, while maintaining an accurate characterization of benign and malignant glands. *Ann Nucl Med.* 2016;30:145-52
  73. Koopman D, van Dalen JA, Lagerweij MC, et al. Improving the detection of small lesions using a state-of-the-art time-of-flight PET/CT system and small-voxel reconstructions. *J Nucl Med Technol.* 2015;43:21-7
  74. Koopman D, van Dalen JA, Slump CH, et al. Impact of image processing in the detection of ischaemia using CZT-SPECT/CT. *Nucl Med Commun.* 2015;36:60-8
  75. van Dijk JD, Jager PL, van Osch JAC, et al. Comparison of maximal Rubidium-82 activities for myocardial blood flow quantification between digital and conventional PET systems. *J Nucl Cardiol.* 2019;26:1286-91
  76. Albutaihi I, van der Veen L, Scholte A, et al. The effects of early and late scanning on image quality and functional parameters in myocardial perfusion imaging. *Clin Nucl Med.* 2010;35:764-9
  77. Olde Heuvel J, de Wit-van der Veen BJ, van der Poel HG, et al. 68Ga-PSMA Cerenkov luminescence imaging in primary prostate cancer: first-in-man series. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2020;47:2624-32
  78. Olde Heuvel J, de Wit-van der Veen BJ, Vyas KN, et al. Performance evaluation of Cerenkov luminescence imaging: a comparison of 68Ga with 18F. *EJNMMI Phys.* 2019;6:17
  79. Nguyễn UC, Al Younis I, Ajmone-Marsan N, et al. Comparison

- between a count-based and geometrical approach for the assessment of left ventricular dyssynchrony using myocardial perfusion scintigraphy. *Nucl Med Commun.* 2016;37:1125-35
80. Stokkel MP, de Wit-van der Veen LJ, Boekhout A. I-123-MIBG myocardial imaging in trastuzumab-based cardiotoxicity: the first experience. *Nucl Med Commun.* 2013;34:19-24
  81. van der Vos CS, Koopman D, Rijnsdorp S, et al. Quantification, improvement, and harmonization of small lesion detection with state-of-the-art PET. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2017;44:4-16
  82. Grootjans W, Serém SJ, Gomes MI, et al. Half-time bone scintigraphy in prostate and breast cancer patients. *J Nucl Med Mol Imaging.* 2018;62:303-12
  83. Woliner-van der Weg W, Deden LN, Meeuwis AP, et al. A 3D-printed anatomical pancreas and kidney phantom for optimizing SPECT/CT reconstruction settings in beta cell imaging using <sup>111</sup>In-exendin. *EJNMMI Phys.* 2016;3:1-14
  84. Buitinga M, Jansen T, van der Kroon I, et al. Succinylated Gelatin Improves the Theranostic Potential of Radiolabeled Exendin-4 in Insulinoma Patients. *J Nucl Med.* 2019;60:812-6
  85. Hartevelde AA, Meeuwis AP, Disselhorst JA, et al. Using the NEMA NU 4 PET image quality phantom in multipinhole small-animal SPECT. *J Nucl Med.* 2011;52:1646-53
  86. Disselhorst JA, Brom M, Laverman P, et al. Image-quality assessment for several positron emitters using the NEMA NU 4-2008 standards in the Siemens Inveon small-animal PET scanner. *J Nucl Med.* 2010;51:610-7
  87. Visser EP, Disselhorst JA, Brom M, et al. Spatial resolution and sensitivity of the Inveon small-animal PET scanner. *J Nucl Med.* 2009;50:139-47
  88. Mannheim JG, Mamach M, Reeder S, et al. Reproducibility and Comparability of Preclinical PET Imaging Data: A Multicenter Small-Animal PET Study. *J Nucl Med.* 2019;60:1483-91
  89. Parl C, Kolb A, Schmid AM, et al. A novel optically transparent RF shielding for fully integrated PET/MRI systems. *J.Phys Med Biol.* 2017;62:7357-78
  90. Olde Heuvel J, de Wit-van der Veen BJ, Huizing DMV, et al. State-of-the-art Intraoperative Imaging Technologies for Prostate Margin Assessment: A Systematic Review. *Eur Urol Focus.* 2020;2405-4569:30059-6
  91. Burgmans MC, Hendriks P, Rietbergen DDD. Does a Widely Adopted Approach Need Reconsideration: Embolization of Parasitized Extrahepatic Tumor Feeders in Patients Undergoing Transarterial Liver-Directed Therapy? *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2020;43:1103-4
  92. Siepel FJ, de Bruin WI, van Duyn EB, et al. Targeted lymph node biopsy in mediastinoscopy using 3D FDG-PET/CT movies: a feasibility study. *Nucl Med Commun.* 2012;33:439-44
  93. Hellingman D, Donswijk ML, Winter-Warnars GAO, et al. Feasibility of radioguided occult lesion localization of clip-marked lymph nodes for tailored axillary treatment in breast cancer patients treated with neoadjuvant systemic therapy. *EJNMMI Res.* 2019;9:94
  94. Hellingman D, Wan OY, de Wit-van der Veen BJ, et al. Predictive risk factors for sentinel lymph node nonvisualization on planar lymphoscintigraphy using an intratumoral injection in patients with primary breast cancer. *Nucl Med Commun.* 2019;40:317-24
  95. Hellingman D, de Wit-van der Veen BJ, Wan OY, et al. Sentinel lymph node nonvisualization after intratumoral radioisotope tracer injection in breast cancer is not associated with a higher nodal metastasis rate or worse outcomes. *J Surg Oncol.* 2019;119:421-9
  96. Hellingman D, Teixeira SC, Donswijk ML, et al. A novel semi-robotized device for high-precision <sup>18</sup>F-FDG-guided breast cancer biopsy. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol.* 2017;36:158-65
  97. KleinJan GH, Hellingman D, van den Berg NS, et al. Hybrid Surgical Guidance: Does Hardware Integration of  $\gamma$ - and Fluorescence Imaging Modalities Make Sense? *J Nucl Med.* 2017;58:646-50
  98. Hellingman D, Vidal-Sicart S, de Wit-van der Veen LJ, et al. A New Portable Hybrid Camera for Fused Optical and Scintigraphic Imaging: First Clinical Experiences. *Clin Nucl Med.* 2016;41:e39-43
  99. Hellingman D, de Wit-van der Veen LJ, Klop WM, Olmos RA. Detecting near-the-injection-site sentinel nodes in head and neck melanomas with a high-resolution portable gamma camera. *Clin Nucl Med.* 2015;40:e11-6
  100. Pouw B, Hellingman D, Kieft M, et al. The hidden sentinel node in breast cancer: Reevaluating the role of SPECT/CT and tracer reinjection. *Eur J Surg Oncol.* 2016;42:497-503
  101. Pouw B, de Wit-van der Veen LJ, van Duijnhoven F, et al. Intraoperative 3D Navigation for Single or Multiple <sup>125</sup>I-Seed Localization in Breast-Preserving Cancer Surgery. *Clin Nucl Med.* 2016;41:e216-20
  102. de Bree R, Pouw B, Heuveling DA, Castelijns JA. Fusion of Freehand SPECT and Ultrasound to Perform Ultrasound-Guided Fine-Needle Aspiration Cytology of Sentinel Nodes in Head and Neck Cancer. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2015;36:2153-8
  103. Pouw B, de Wit-van der Veen LJ, Stokkel MP, Valdés Olmos RA. Improved Accuracy and Reproducibility Using a Training Protocol for Freehand-SPECT 3D Mapping in Radio-Guided Surgery. *Clin Nucl Med.* 2015;40:e457-60
  104. Pouw B, van der Ploeg IM, Muller SH. Simultaneous use of an (<sup>125</sup>I-seed) to guide tumour excision and (<sup>99m</sup>Tc)-nanocolloid for sentinel

- node biopsy in non-palpable breast-conserving surgery. *Eur J Surg Oncol.* 2015;41:71-8
105. Pouw B, de Wit-van der Veen LJ, Stokkel MP, et al. Heading toward radioactive seed localization in non-palpable breast cancer surgery? A meta-analysis. *J Surg Oncol.* 2015;111:185-91
106. Pouw B, de Wit-van der Veen LJ, van der Hage JA, et al. Radio-guided seed localization for breast cancer excision: an ex-vivo specimen-based study to establish the accuracy of a freehand-SPECT device in predicting resection margins. *Nucl Med Commun.* 2014;35:961-6
107. Pouw B, der Veen LJ, Hellingman D, et al. Feasibility of preoperative (125I) seed-guided tumoural tracer injection using freehand SPECT for sentinel lymph node mapping in non-palpable breast cancer. *EJNMMI Res.* 2014;4:19
108. den Toom IJ, Boeve K, Lobeek D, et al. Elective Neck Dissection or Sentinel Lymph Node Biopsy in Early Stage Oral Cavity Cancer Patients: The Dutch Experience. *Cancers.* 2020;12:1783
109. van Dijk JD, Mouden M, Ottervanger JP, et al. Value of attenuation correction in stress-only myocardial perfusion imaging using CZT-SPECT. *J Nucl Cardiol.* 2017;24:395-401
110. van der Vos CS, Arens AIJ, Hamill JJ, et al. Metal Artifact Reduction of CT Scans to Improve PET/CT. *J Nucl Med.* 2017;58:1867-72
111. van Dijk JD, van Dalen JA, Mouden M, et al. Value of automatic patient motion detection and correction in myocardial perfusion imaging using a CZT-based SPECT camera. *J Nucl Cardiol.* 2018;25:419-28
112. van der Vos CS, Meeuwis APW, Grootjans W, Geus-Oei LF, Visser EP. Improving the Spatial Alignment in PET/CT Using Amplitude-Based Respiration-Gated PET and Patient-Specific Breathing-Instructed CT. *J Nucl Med Technol.* 2019;47:154-9
113. van der Vos CS, Grootjans W, Osborne DR, Meeuwis AP, Hamill JJ, Acuff S, de Geus-Oei LF, Visser EP. Improving the Spatial Alignment in PET/CT Using Amplitude-Based Respiration-Gated PET and Respiration-Triggered CT. *J Nucl Med.* 2015;56:1817-22
114. van der Vos CS, Grootjans W, Meeuwis AP, Slump CH, Oyen WJ, de Geus-Oei LF, Visser EP. Comparison of a free-breathing CT and an expiratory breath-hold CT with regard to spatial alignment of amplitude-based respiratory-gated PET and CT images. *J Nucl Med Technol.* 2014;42:269-73
115. Grootjans W, Kok P, Butter J, Aarntzen E. Management of Respiratory Motion Artefacts in 18F-fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography using an Amplitude-Based Optimal Respiratory Gating Algorithm. *J Vis Exp.* 2020;23
116. Smeets EMM, Withaar DS, Grootjans W, Hermans JJ, van Laarhoven K, de Geus-Oei LF, Gotthardt M, Aarntzen EHJG. Optimal respiratory-gated [18F]FDG PET/CT significantly impacts the quantification of metabolic parameters and their correlation with overall survival in patients with pancreatic ductal adenocarcinoma. *EJNMMI Res.* 2019;13:24
117. Grootjans W, Tixier F, van der Vos CS, Vriens D, Le Rest CC, Bussink J, Oyen WJ, de Geus-Oei LF, Visvikis D, Visser EP. The Impact of Optimal Respiratory Gating and Image Noise on Evaluation of Intratumor Heterogeneity on 18F-FDG PET Imaging of Lung Cancer. *J Nucl Med.* 2016;57:1692-8
118. Grootjans W, Hermsen R, van der Heijden EH, Schuurbijs-Siebers OC, Visser EP, Oyen WJ, de Geus-Oei LF. The impact of respiratory gated positron emission tomography on clinical staging and management of patients with lung cancer. *Lung Cancer.* 2015;90:217-23
119. Grootjans W, de Geus-Oei LF, Meeuwis AP, van der Vos CS, Gotthardt M, Oyen WJ, Visser EP. Amplitude-based optimal respiratory gating in positron emission tomography in patients with primary lung cancer. *Eur Radiol.* 2014;24:3242-50
120. Huizing ED, van Dijk JD, van Dalen JA, Timmer JR, Arkies H, Slump CH, Jager PL. Minimizing rubidium-82 tracer activity for relative PET myocardial perfusion imaging. *Nucl Med Commun.* 2017;38:708-14
121. van Dijk JD, van Dalen JA, Knollema S, Mouden M, Ottervanger JP, Jager PL. Minimal rest activity for SPECT myocardial perfusion imaging in a one-day stress-first protocol. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2019;46:1248-56
122. van Dijk JD, Jager PL, van Dalen JA. Patient-specific activity or scan-time in SPECT myocardial perfusion imaging: A hands-on approach. *J Nucl Cardiol.* 2017;24:2129-32
123. van Dijk JD, Jager PL, Ottervanger JP, Slump CH, Knollema S, van Dalen JA. Patient-specific tracer activity in MPI SPECT: A hands-on approach. *J Nucl Cardiol.* 2016;23:145-8
124. van Dijk JD, Borren NM, Mouden M, van Dalen JA, Ottervanger JP, Jager PL. Effect of a patient-specific minimum activity in stress myocardial perfusion imaging using CZT-SPECT: Prognostic value, radiation dose, and scan outcome. *J Nucl Cardiol.* 2018;25:26-35
125. van Dijk JD, Jager PL, Ottervanger JP, de Boer J, Oostdijk AH, Engbers EM, Slump CH, Knollema S, van Dalen JA. Development and validation of a patient-tailored dose regime in myocardial perfusion imaging using conventional SPECT. *J Nucl Cardiol.* 2016;23:134-42
126. van Dijk JD, Jager PL, Ottervanger

- JP, Slump CH, de Boer J, Oostdijk AH, van Dalen JA. Minimizing patient-specific tracer dose in myocardial perfusion imaging using CZT SPECT. *J Nucl Med Technol.* 2015;43:36-40
127. van Dijk JD, Jager PL, Mouden M, Slump CH, Ottervanger JP, de Boer J, Oostdijk AH, van Dalen JA. Development and validation of a patient-tailored dose regime in myocardial perfusion imaging using CZT-SPECT. *J Nucl Cardiol.* 2014;21:1158-67
128. Grootjans W, Meeuwis AP, Slump CH, de Geus-Oei LF, Gotthardt M, Visser EP. Performance of 3DOSEM and MAP algorithms for reconstructing low count SPECT acquisitions. *Z Med Phys.* 2016;26:311-22
129. Dotinga M, Vriens D, van Velden F, Heijmen L, Nagarajah J, Hicks R, Kapiteijn E, de Geus-Oei LF. Managing radioiodine refractory thyroid cancer: the role of dosimetry and redifferentiation on subsequent I-131 therapy. *Q J Nucl Med Mol Imaging.* 2020;64:250-64
130. Huizing DMV, Peters SMB, Versleijen MWJ, Martens E, Verheij M, Sinaasappel M, Stokkel MPM, de Wit-van der Veen BJ. A head-to-head comparison between two commercial software packages for hybrid dosimetry after peptide receptor radionuclide therapy. *EJNMMI Phys.* 2020;7:36
131. Huizing DMV, de Wit-van der Veen BJ, Verheij M, Stokkel MPM. Dosimetry methods and clinical applications in peptide receptor radionuclide therapy for neuroendocrine tumours: a literature review. *EJNMMI Res.* 2018;8:89
132. Boss M, Buitinga M, Jansen TJP, Brom M, Visser EP, Gotthardt M. PET-Based Human Dosimetry of <sup>68</sup>Ga-NODAGA-Exendin-4, a Tracer for  $\beta$ -Cell Imaging. *J Nucl Med.* 2020;61:112-6
133. Jansen TJP, van Lith SAM, Boss M, Brom M, Joosten L, B  h   M, Buitinga M, Gotthardt M. Exendin-4 analogs in insulinoma theranostics. *J Labelled Comp Radiopharm.* 2019;62:656-72
134. Woliner-van der Weg W, Schoffelen R, Hobbs RF, Gotthardt M, Goldenberg DM, Sharkey RM, Slump CH, van der Graaf WT, Oyen WJ, Boerman OC, Sgouros G, Visser EP. Tumor and red bone marrow dosimetry: comparison of methods for prospective treatment planning in pretargeted radioimmunotherapy. *EJNMMI Phys.* 2015;2:5
135. van der Kroon I, Woliner-van der Weg W, Brom M, Joosten L, Frielink C, Konijnenberg MW, Visser EP, Gotthardt M. Whole organ and islet of Langerhans dosimetry for calculation of absorbed doses resulting from imaging with radiolabeled exendin. *Sci Rep.* 2017;7:39800
136. Schoffelen R, Woliner-van der Weg W, Visser EP, Goldenberg DM, Sharkey RM, McBride WJ, Chang CH, Rossi EA, van der Graaf WT, Oyen WJ, Boerman OC. Predictive patient-specific dosimetry and individualized dosing of pretargeted radioimmunotherapy in patients with advanced colorectal cancer. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2014;41:1593-602
137. Konert T, Vogel WV, Paez D, Polo A, Fidarova E, Carvalho H, Duarte PS, Zuliani AC, Santos AO, Altuhhova D, Karusoo L, Kapoor R, Sood A, Khader J, Al-Ibraheem A, Numair Y, Abubaker S, Soydal C, K  t  k T, Le TA, Canh NX, Bieu BQ, Ha LN, Belderbos JSA, MacManus MP, Thorwarth D, Hanna GG. Introducing FDG PET/CT-guided chemoradiotherapy for stage III NSCLC in low- and middle-income countries: preliminary results from the IAEA PERTAIN trial. *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2019;46:2235-43
138. Konert T, van de Kamer JB, Sonke JJ, Vogel WV. The developing role of FDG PET imaging for prognostication and radiotherapy target volume delineation in non-small cell lung cancer. *J Thorac Dis.* 2018;10:S2508-21
139. Konert T, Vogel WV, Everitt S, MacManus MP, Thorwarth D, Fidarova E, Paez D, Sonke JJ, Hanna GG. Multiple training interventions significantly improve reproducibility of PET/CT-based lung cancer radiotherapy target volume delineation using an IAEA study protocol. *Radiother Oncol.* 2016;121:39-45
140. Konert T, Vogel W, MacManus MP, Nestle U, Belderbos J, Grégoire V, Thorwarth D, Fidarova E, Paez D, Chiti A, Hanna GG. PET/CT imaging for target volume delineation in curative intent radiotherapy of non-small cell lung cancer: IAEA consensus report 2014. *Radiother Oncol.* 2015;116:27-34
141. Grootjans W, de Geus-Oei LF, Bussink J. Image-guided adaptive radiotherapy in patients with locally advanced non-small cell lung cancer: the art of PET. *Q J Nucl Med Mol Imaging.* 2018;62:369-84
142. Grootjans W, Usmanij EA, Oyen WJ, van der Heijden EH, Visser EP, Visvikis D, Hatt M, Bussink J, de Geus-Oei LF. Performance of automatic image segmentation algorithms for calculating total lesion glycolysis for early response monitoring in non-small cell lung cancer patients during concomitant chemoradiotherapy. *Radiother Oncol.* 2016;119:473-9
143. Wijsman R, Grootjans W, Troost EG, van der Heijden EH, Visser EP, de Geus-Oei LF, Bussink J. Evaluating the use of optimally respiratory gated <sup>18</sup>F-FDG-PET in target volume delineation and its influence on radiation doses to the organs at risk in non-small-cell lung cancer patients. *Nucl Med Commun.* 2016;37:66-73
144. <https://www.nvvtg.nl/fellowships/>