

Dosisreductie door implementatie van het automatisch uitvul- en toedieningssysteem op de ontvangen stralingsdosis van medisch nucleair werkers

E. Hendrikse, W. Huisman, J. Medema, P.H. Elsinga, MD, PhD, A.T.M. Willemsen, PhD

Afdeling Nucleaire Geneeskunde en Moleculaire Beeldvorming, Universitair Medisch Centrum Groningen

Abstract

Introduction: Over the last years the number of PET procedures in the department of Nuclear Medicine and Molecular Imaging (NGMB) of the University Medical Center Groningen (UMCG) has risen. The dose report of Mirion Dosimetry Services reported an increasing whole-body and extremity dose of personnel as a possible result of the increasing number of procedures.

Shielded automated dispensing and infusion devices by Tema Sinergy have recently been introduced. Unlike manual preparation and injection, these automatic devices offer the technicians more protection against radiation exposure and allow them to keep more distance during the procedures.

Aim: The aim of the study was to evaluate the effect of an automatic syringe dispensing and injection system on the whole-body and extremity dose of technicians compared to manual dispensing and injection.

Methods: The whole-body and extremity dose per four weeks (one period) for all personnel working at the PET were measured with ring and badge dosimeters and compared between four periods of manual

(12-08-2019 to 08-12-2019) and four periods of automatic (16-08-2021 to 5-12-2021) dispensing and injection.

Results: The mean whole-body dose rate was not significant different between the periods of automatic and manual dispensing and injection ($p=0,236$). However the extremity dose rate reduced from $35,72 \pm 39,84 \mu\text{Sv/h}$ to $9,97 \pm 8,97 \mu\text{Sv/h}$ ($p<0,001$).

Conclusion: The use of an automatic syringe dispensing and injection system resulted in a $72,1 \pm 40,8\%$ reduction of the extremity dose. At the same time the whole-body dose did not change. Additional investments are needed to further reduce the whole-body dose for technicians.

Introductie

De laatste jaren is de populariteit van de Positron Emissie Tomografie (PET) als nucleair beeldvormend onderzoek sterk toegenomen, met name door de introductie van nieuwe radiofarmaca en verbeterde scantechnologieën (1). Vanuit het elektronisch patiëntendossier van de afdeling Nucleaire Geneeskunde & Moleculaire Beeldvorming (NGMB) van het Universitair Medisch Centrum te Groningen (UMCG) is in de afgelopen jaren een forse stijging van het aantal

PET verrichtingen te zien. Dit heeft bij een gelijkblijvende dosering negatieve gevolgen op de ontvangen stralingsdosis van medisch nucleair werkers (MNW'ers). Het dosisrapport van Mirion Dosimetry Services rapporteerde een stijging van de cumulatieve lichaams- en vingerdosis op de afdeling NGMB. Van 2015 t/m 2019 is de cumulatieve lichaams- en vingerdosis met 34 en respectievelijk 41% toegenomen. In het kader van het As Low As Reasonably Achievable (ALARA) principe blijft dosisreductie een belangrijk aandachtspunt. Vanuit verschillende analyses komt naar voren dat een handeling dicht bij de bron, zoals uitvullen of toedienen, een grote bijdrage levert aan de ontvangen stralingsdosis van de MNW'ers (2-4).

Op de afdeling NGMB werd voorheen de radioactieve dosis handmatig uitgevuld en toegediend aan de patiënt. Omdat de handelingen met de hand werden uitgevoerd, was afstand houden moeilijk. Daarnaast bevonden de handen zich gedurende een langere tijd dicht bij de bron, waardoor de extremitendosis hoog kon oplopen (5). In mei 2021 is de afdeling overgegaan op twee systemen van Tema Singergie. Voor het automatisch uitvullen wordt een $\mu\text{DDS-A}$ -systeem gebruikt en voor het automatisch toedienen het Rad-inject-systeem. Hierbij wordt de juiste hoeveelheid activiteit per patiënt automatisch door de $\mu\text{DDS-A}$ uitgevuld. Vervolgens wordt met behulp van het Rad-inject systeem de activiteit geautomatiseerd

bij de patiënt toegediend. De automatische systemen bieden de MNW'ers meer bescherming en maken het mogelijk meer afstand te houden tijdens de procedures, waardoor met name een voordeel beoogd wordt voor de dosis op de vingers. Eerdere studies hebben aangetoond dat het toepassen van een automatisch uitvul- en toedieningssysteem leidt tot een verlaging van de lichaams- en extremitetendosis van de medewerkers (6,7).

In dit onderzoek wordt de ontvangen dosis van MNW'ers geëvalueerd voor en na de introductie van het Tema automatisch uitvul- en toedieningssysteem. Het doel van de studie is om te bepalen wat het effect van het automatisch uitvullen en toedienen is op de lichaams- en extremitetendosis van MNW'ers in vergelijking met het handmatig uitvullen en toedienen.

Methode

Studiedesign

Voor het uitvoeren van het onderzoek is gekozen voor een retrospectief

observationeel vergelijkend onderzoeksdesign. Bestaande gegevens van het handmatig en automatisch uitvullen en toedienen zijn verzameld en met elkaar vergeleken. Om de leercurve te vermijden zijn drie maanden na implementatie van het automatisch uitvullen alle tot dan toe verkrijgbare gegevens met betrekking tot het automatisch uitvullen en toedienen verzameld. Dit waren vier periodes, van in totaal zestien weken. Voor de gegevens van het handmatig uitvullen en toedienen is een vergelijkbare tijdsinterval gekozen. Van 12-08-2019 t/m 08-12-2019 zijn de gegevens van het handmatig uitvullen en toedienen verzameld en van 16-08-2021 t/m 5-12-2021 zijn de gegevens van het automatisch uitvullen en toedienen verzameld (figuur 1).

Onderzoekspopulatie

Het onderzoek vond plaats in het UMCG op de afdeling NGMB. De dosisuitslagen van MNW'ers, die als representatief konden worden beschouwd voor de werkzaamheden die werden uitgevoerd tijdens de periodes van het automatisch en

handmatig uitvullen en toedienen, werden verzameld. Hiervoor zijn de volgende in- en exclusiecriteria opgesteld:

Inclusiecriteria:

- Volwassen mannen en vrouwen > 18 jaar
- Deed uitvul- en/of toedieningswerkzaamheden met PET-radiofarmaca voor minimaal drie maanden.
- Is getraind door PI-Medical voor het gebruik van de Rad-inject en μ DDS-A systemen of zijn via het train-de-trainer principe opgeleid.

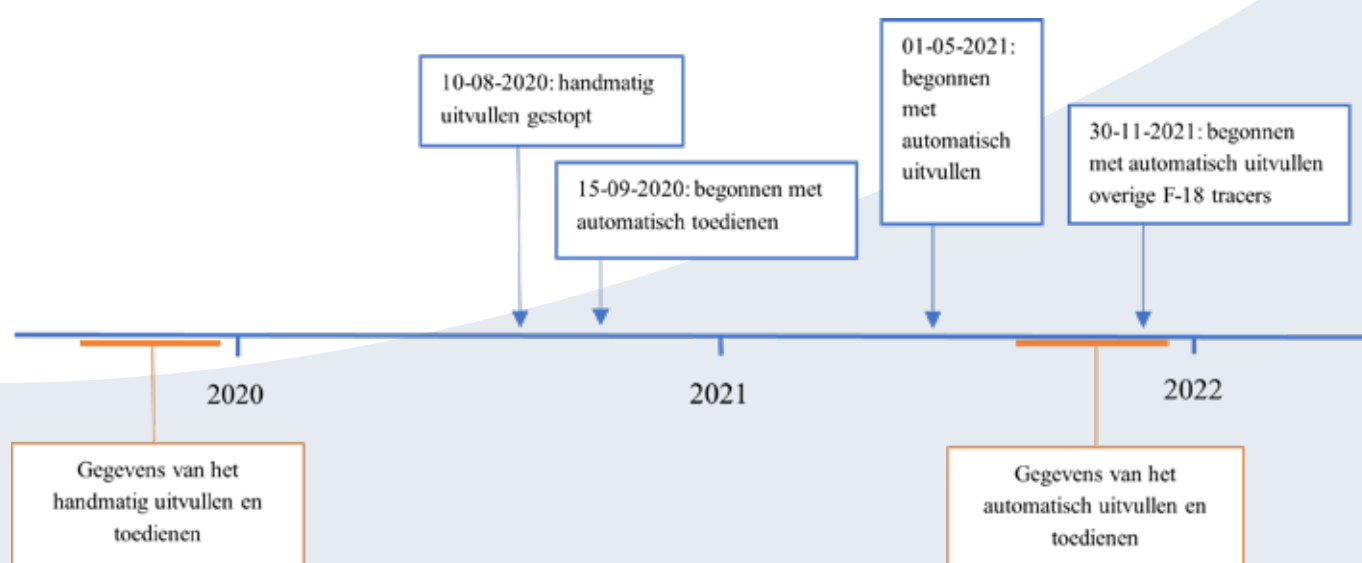
Exclusiecriteria:

- Deed werkzaamheden op de interventieradiologie.

Uitvullen en toedienen

Handmatig uitvullen

Het handmatig uitvullen werd gedaan in een gevalideerde LAF-kast. Hierin bevond zich achter een loodkasteel een loodpot met vial en de dosiscalibrator. De MNW'er bevestigde in de LAF-kast een naald op de 10 ml spuit. Door het gat in de



Figuur 1. Tijdslijn van de periodes waarin de gegevens zijn verzameld.

loodpot werd met de onafgeschermd spuit handmatig activiteit uit de vial opgetrokken. De spuit werd vervolgens in de dosiscalibrator gedaan en indien nodig werd het volume aangepast. Het volume werd aangevuld met NaCl uit een ampul, waarna deze handmatig werd ontluicht en in de dosiscalibrator werd gedaan voor definitieve meting. Tot slot werd een wolfram huls om de spuit bevestigd en in een loodhouder geplaatst. De MNW'er bevond zich tijdens het uitvullen achter loodglas. De handen bevonden zich gedurende de handeling bij de onbeschermd spuit. De spuit werd in ongeveer twee minuten uitgevuld.

Handmatig toedienen

De loodhouder met spuit werd op de toedientafel naast de patiënt gezet. De MNW'er verwijderde de naald van de spuit en koppelde het infuussysteem aan. De spuit werd vervolgens handmatig bij de patiënt toegediend, waarbij één keer werd geflushed. Het toedienen duurde ongeveer twee minuten, waarna het infuussysteem werd afgekoppeld en de naald terug op de spuit werd bevestigd.



Figuur 2. De µDDS-A van Tema Sinergie.

Automatisch uitvullen

De µDDS-A van Tema Sinergie is een geautomatiseerd uitvuilsysteem, bestaande uit een afgeschermd container voor de mother vial, NaCl houder, peristaltische pomp, een plaat voor installatie van een disposable kit, lift en dosiscalibrator (figuur 2). De spuit met wolfram huls werd in de lift geplaatst en het slangetje van de disposable kit werd op de spuit aangesloten. De µDDS-A vulde de spuit in vijf minuten uit. Vervolgens werd de spuit met wolfram huls losgekoppeld en de open uiteinden met dopjes afgesloten. De spuit werd tot slot in een loodkistje gedaan voor vervoer. De MNW'er bevond zich tijdens het bevestigen en loskoppelen van de spuit achter loodglas, waarbij de handen dicht bij de afschermd spuit waren. Tijdens het uitvullen nam de MNW'er twee meter afstand van het loodglas.

Automatisch toedienen

Het Rad-inject systeem van Tema Sinergie is vooraf geprogrammeerd. De tracer (met een volume van maximaal 11 ml) wordt in vier minuten automatisch toegediend en twee keer geflushed. De MNW'er bevestigde de spuit met wolfram huls in de loodhouder aan de wand. De spuit werd op het infuussysteem aangesloten en de stamper werd vervangen door het Rad-inject systeem. Vervolgens werd de toediening gestart, waarna de MNW'er de ruimte verliet. Na injectie werd de spuit afgekoppeld en de open uiteinden met dopjes afgesloten.

Meetinstrumenten

Blootgestelde medewerkers van de afdeling NGMB dienen een persoonlijk dosiscontrolemiddel te dragen, in de vorm van een badge en een ring. De persoonsdosimetrie werd om de vier weken gerapporteerd in de vorm van een dosisrapport door Mirion Dosimetry Services. De badge en ring dosimeters werden de gehele

werkdag door de MNW'ers gedragen, zowel tijdens de verrichtingen op de PET als op de SPECT. De dosimeter in de vorm van een badge, bevestigd op de borst, werd gebruikt om het persoonsdosisequivalent op een diepte van 10 mm in zacht weefsel vast te stellen ($H_p(10)$). Deze grootheid is een goede benadering van de ontvangen lichaamsdosis (8). Voor de extremiteitendosis werd gebruik gemaakt van een ringdosimeter. De dosimeter wordt gebruikt voor het vaststellen van $H_p(0,07)$, het persoonsdosisequivalent op een diepte van 0,07 mm in zacht weefsel, welke een goede indicatie geeft van de extremiteitendosis (9).

Uitkomstmaten en variabelen

De primaire uitkomstmaten zijn de ontvangen lichaams- en extremiteitendosis, uitgedrukt in millisievert (mSv). De dosis werd bepaald over vier weken (één periode). In totaal werden vier periodes aan data verzameld. Daarnaast werden een aantal variabelen verzameld die invloed hadden op de ontvangen dosis van de MNW'ers. Dit zijn het aantal gewerkte uren, de hoeveelheid uitgevoerde onderzoeken en de totaal bereide dosis.

Data-analyse

Voor het uitvoeren van de data-analyse is gebruik gemaakt van IBM® SPSS® Statistics (version 27). Een p-waarde van $<0,05$ werd beschouwd als statistisch significant. Continue variabelen zijn weergegeven in gemiddelden (\pm) en standaarddeviaties (SD). Numerieke variabelen in percentages. Om te kijken of de periodes overeenkwamen is gekeken naar het aantal onderzoeken die zijn uitgevoerd en de gemiddelde bereide dosis per onderzoek. Daarnaast is voor de ontvangen lichaams- en extremiteitendosis het dosistempo berekend in $\mu\text{Sv/h}$, om zodoende te corrigeren voor het aantal gewerkte uren.

De dosisopbrengsten zijn grafisch weergegeven met behulp van boxplots. Daarnaast is de ongepaarde t-test toegepast bij normaal verdeelde data om de lichaams- en extremitetendosis tussen de twee uitvul- en toediensystemen met elkaar te vergelijken.

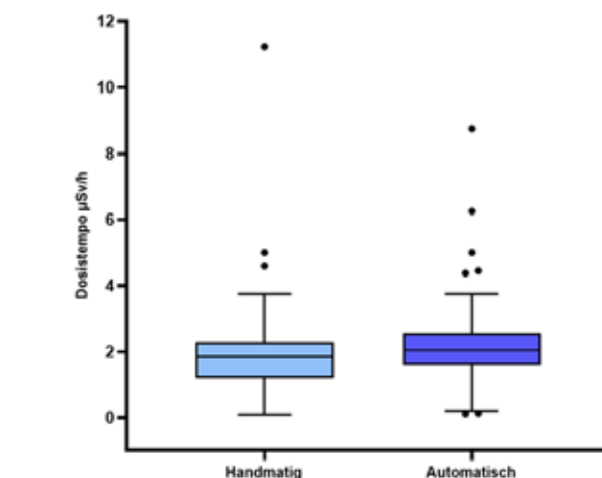
Resultaten

Bereide dosis

Tijdens de periode van het handmatig uitvullen en toedienen werden in totaal 1969 onderzoeken verricht met een dosis van rond de 249 MBq per onderzoek. Tijdens een vergelijkbare periode van het automatisch uitvullen en toedienen werden in totaal 1936 onderzoeken verricht met een dosis van rond de 251 MBq per onderzoek. Over de vier periodes van het handmatig uitvullen en toedienen werkten achttien personen met de PET-radiofarmaca en over de vier periodes van het automatisch uitvullen en toedienen 23 personen (tabel 1).

Lichaamsdosis

Voor het bepalen van de ontvangen lichaamsdosis zijn voor het handmatig uitvul- en toedieningssysteem 66 badge uitslagen verzameld en voor het automatisch uitvul- en toedieningssysteem 85 uitslagen. Vier badge uitslagen van het automatisch uitvullen en toedienen zijn geëxcludeerd, omdat deze persoon naast de PET werkzaamheden ook bij de interventieradiologie werkzaam was. Daarnaast is één badge niet door een medewerker ingeleverd, waardoor een uitslag mist. Het gemiddeld dosistempo op het lichaam bij het automatisch en



Figuur 3. Boxplot van het dosistempo op het lichaam per methode.

handmatig uitvullen en toedienen verschilden niet significant van elkaar ($p=0,236$). Het handmatig uitvullen en toedienen leverde een gemiddeld dosistempo op van $1,9 \pm 1,5 \mu\text{Sv/h}$ en het automatisch uitvullen en toedienen een gemiddeld dosistempo van $2,2 \pm 1,2 \mu\text{Sv/h}$ (figuur 3).

Extremitetendosis

Voor het bepalen van de ontvangen extremitetendosis zijn voor het handmatig uitvul- en toedieningssysteem 67 ring uitslagen verzameld en voor het automatisch uitvul- en toedieningssysteem 84 uitslagen. Vier ring uitslagen van het automatisch uitvullen en toedienen zijn geëxcludeerd, omdat deze persoon naast de PET werkzaamheden ook bij de interventieradiologie werkzaam was. Daarnaast is één keer een ring niet door een medewerker ingeleverd, waardoor een uitslag mist. Het gemiddelde dosistempo op

de handen van het automatisch en handmatig uitvullen en toedienen verschilden significant van elkaar ($p<0,001$). Het automatisch uitvullen en toedienen ($10,0 \pm 9,0 \mu\text{Sv/h}$) leverde gemiddeld een lagere dosistempo op dan het handmatig uitvullen en toedienen ($35,7 \pm 39,8 \mu\text{Sv/h}$) (figuur 4).

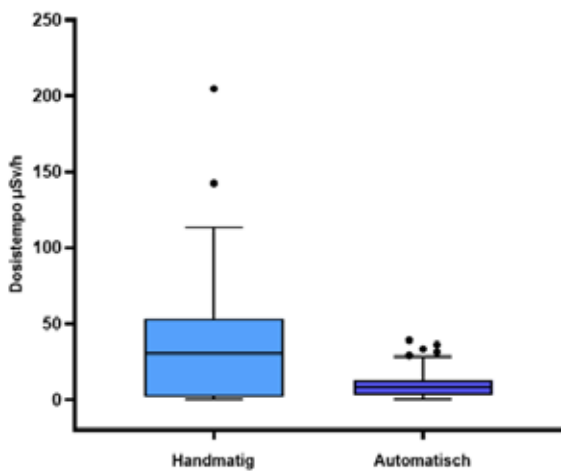
Discussie

Uit de studie is gebleken dat de implementatie van het automatisch uitvul- en toedieningssysteem heeft geresulteerd in een gelijkblijvende lichaamsdosis en een reductie van de extremitetendosis met $72,1 \pm 40,8\%$ in vergelijking met het handmatig uitvullen en toedienen.

De literatuur is consistent wanneer het gaat over de invloed van het automatisch uitvul- en toedieningssysteem op de extremitetendosis van de medewerkers. De studie van Schleipmann et al (6), toonde eveneens een dosisreductie van de extremitetendosis na de implementatie van een automatisch uitvul- en toedieningssysteem. Het MEDRAD Intego systeem van Bayer is een mobiel apparaat, dat vanuit de vial de juiste dosis automatisch aan de patiënt toedient.

Tabel 1. Bereide dosis per methode.

Parameters	Handmatig (n=18)	Automatisch (n=23)
Totale uitgevulde dosis (GBq)	49,01	48,59
Aantal onderzoeken	1969	1936
Dosis / onderzoek (MBq)	249	251



Figuur 4. Boxplot van het dosistempo op de vingers per methode.

Het betrof hier een daling van de extremitetendosis met 89%. Ook de studie van Covens *et al* (7) rapporteerde een 95% dosisreductie van de extremitetendosis na de implementatie van het Posijet systeem van Lempax. Welke een vergelijkbare werking heeft als het Intego systeem. In de huidige studie hadden we te maken met een reductie van 72%. De μ DDS-A en Rad-inject van Tema Sinergie zijn in tegenstelling tot de Intego en Posijet twee afzonderlijke systemen, waardoor het uitvullen en toedienen niet tegelijkertijd plaatsvond. Daarnaast werden in de periode van het automatisch uitvullen en toedienen niet alle tracers automatisch uitgevuld, wat mogelijk heeft geleid tot een onderschatting van het uiteindelijke percentage.

Uit de literatuur komt naar voren dat het automatisch uitvul- en toedieningssysteem eveneens resulteert in een reductie van de lichaamsdosis (6,7). In de huidige studie bleef de gemiddelde opgelopen lichaamsdosis echter gelijk. Vanuit de resultaten kan worden opgemaakt dat het toedienen en uitvullen weinig invloed heeft op de totale lichaamsdosis. Hieruit kunnen we opmaken dat de handelingen buiten het uitvullen en toedienen een grotere

bijdrage leveren aan de lichaamsdosis. Tijdens het automatisch uitvullen en toedienen werkten meer MNW'ers dan tijdens het handmatig uitvullen en toedienen, waardoor de totale opgelopen dosis is verdeeld over een grotere groep medewerkers. Tijdens het automatisch uitvullen en toedienen was echter één MNW'er extra nodig om de uitvulwerkzaamheden voor de andere tracers uit te voeren, waardoor mogelijk een hogere totale dosis is gemeten. Desondanks is in het dosisjaaroverzicht van Mirion geen toename van de cumulatieve lichaamsdosis te zien. De cumulatieve lichaamsdosis van de NGMB in het jaar 2019 was 78,1 mSv en in het jaar 2021 66,2 mSv.

Deze studie is de eerste studie die de μ DDS-A en Rad-inject systemen van Tema Sinergie heeft geëvalueerd op de ontvangen lichaams- en extremitetendosis van de medewerkers in vergelijking met het handmatig uitvullen en toedienen. Middels het onderzoek kan worden nagegaan of, en in welke mate de systemen daadwerkelijk hebben geresulteerd in een dosisreductie van de medewerkers. Daarnaast is gekozen om de gegevens drie maanden na de implementatie van het automatisch uitvulstelsel te verzamelen, om de

leercurve zoveel mogelijk te vermijden. De studie bevatte een aantal zwaktes. Ten eerste is in de studie niet bepaald in welke mate het automatisch uitvullen en toedienen afzonderlijk van elkaar hebben bijgedragen aan de ontvangen dosis van de medewerkers. De studie had alleen beschikking over dosisuitdraaien van medewerkers die beide procedures uitvoerden, waardoor de invloed van de individuele systemen niet kon worden vastgesteld. Ten tweede kwamen de periodes van het automatisch en handmatig uitvullen en toedienen niet geheel met elkaar overeen. Tijdens het automatisch uitvullen en toedienen werd alleen FDG automatisch uitgevuld. Dit betrof echter 80% van de totale bereide dosis. Daarnaast bestond variatie tussen het dragen van de ring binnen de MNW'ers. De gemeten extremitetendosis is sterk afhankelijk van de locatie van de ringdosismeter, welke hierdoor een onderschatting kan geven van de ontvangen dosis op de handen (10). Uit de studie komt naar voren dat ondanks de implementatie van het automatisch uitvul- en toedieningssysteem de lichaamsdosis voor MNW'ers gelijk is gebleven. Er wordt geadviseerd verdere maatregelen te treffen, om zodoende de lichaamsdosis voor MNW'ers verder te reduceren. Binnen de afdeling NGMB kan de lichaamsdosis verder worden gereduceerd door de contacttijd met radioactieve patiënten te verkorten. Dit kan worden behaald door toedieningskamers te realiseren, waarin de patiënt kan verblijven tijdens de inwerkperiode. De vingerdosis kan verder worden gereduceerd door ook de overige tracers met het μ DDS-A systeem uit te vullen.

Conclusie

Uit de huidige studie kan geconcludeerd worden dat het toepassen van het nieuwe automatisch uitvul- en toedieningssysteem binnen de afdeling Nucleaire Geneeskunde

& Moleculaire Beeldvorming in het UMCG heeft geresulteerd in een reductie van de extremitateindosis met $72,1 \pm 40,8\%$ bij MNW'ers, die zich bezig hielden met de uitvul- en toedieningswerkzaamheden op de PET. Om de lichaamsdosis van de MNW'ers verder te reduceren wordt geadviseerd verdere acties te ondernemen.

e.hendrikse@umcg.nl ♦

Referenties

1. Bijwaard H. Inventarisatie van ontwikkelingen van PET-CT [Internet]. 2011. Available from: www.rivm.nl
2. McElroy NL. Worker dose analysis based on real time dosimetry. *Health Physics*. 1998;74(5)
3. Lundberg TM, Gray PJ, Bartlett ML. Measuring and minimizing the radiation dose to nuclear medicine technologists. *Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2002;30(1)
4. Chiesa C, de Sanctis V, Crippa F, et al. Radiation dose to technicians per nuclear medicine procedure: Comparison between technetium-99m, gallium-67, and iodine-131 radiotracers and fluorine-18 fluorodeoxyglucose. *European Journal of Nuclear Medicine*. 1997;24(11)
5. Li W, Fang L, Li J. Exposure Doses to Technologists Working in 7 PET/CT Departments. *Dose-Response*. 2020;18(3)
6. Robert Schleipman A, Gerbaudo VH. Occupational radiation dosimetry assessment using an automated infusion device for positron-emitting radiotracers. *Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2012;40(4)
7. Covens P, Berus D, Vanhavere F, Caveliers V. The introduction of automated dispensing and injection during pet procedures: a step in the optimisation of extremity doses and whole-body doses of nuclear medicine staff. *Radiation Protection Dosimetry*. 2010;140(3)
8. Mirion Technologies Dosimetry Services. Toelichting Persoonsdosimetrie. [cited 2022 Jul 27]; Available from: https://mirion.s3.amazonaws.com/cms4_mirion/files/pdf/dosimetrie-nl/toelichting_extremitateindosis_mirion.pdf?1598280088
9. Mirion Technologies Dosimetry Services. Toelichting Extremitateindosis [Internet]. [cited 2022 Jul 27]. Available from: https://mirion.s3.amazonaws.com/cms4_mirion/files/pdf/dosimetrie-nl/toelichting_extremitateindosis_mirion.pdf?1598280088
10. Guillet B, Quentin P, Waultier S, et al. Technologist radiation exposure in routine clinical practice with 18F-FDG PET. *Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2005;33(3)