

UTVÄRDERING AV STRÅLDOSE FÖR PERSONAL VERKSAMMA INOM DIAGNOSTISK NUKLEARMEDICIN

AYA MOHAMMED

UTVÄRDERIG AV STRÅLDOSER TILL PERSONAL VERKSAMMA INOM DIAGNOSTISK NUKLEARMEDICINE

AYA MOHAMMED

Mohammed, A. Utvärdering av stråldoser till personal verksamma inom diagnostisk nuklearmedicin. *Examensarbete i Biomedicinsk laboratorievetenskap 15 högskolepoäng*. Malmö Universitet: Fakulteten för hälsa och samhälle, Institutionen för biomedicinsk laboratorievetenskap, 2018.

I nuklearmedicinska verksamheten utsätts personal för strålning på olika vis. Huvudsakligen genom administrering av radiofarmaka som injicering eller avfallshantering men även genom att befinna sig nära patient efter injektion av radiofarmaka. Med strålning finns risker för skador som förekommer i cellnivå. Två typer av effekter förekommer vid bestrålning av vävnaden, deterministiska och stokastiska skador. För att minska risken för skador har strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) föreskrivit dosgränser som inte får överskridas. Syftet med studien var att kartlägga stråldoser till personal inom nuklearmedicinska verksamhet. I studien kontrollerades fingerdoser för personal inom PET/CT, där små termoluminiscenta dosimetrar (TLD) placerades på sex fingertoppar hos personalen. Stråldoserna mättes vid tre arbetstillfällen; uppackning av ^{18}F , injicering med automatisk injektor samt manuellt uppdrag och injicering av ^{18}F märkt läkemedel. För att fastfälla risken för internkontamination av personal vid ventilationsundersökningar med $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -aresol, placerades personalen under en gammakamera och antalet pulser som fastställdes översattes till aktivitet genom en fantommätning. Dessutom mättes doshastigheten hos patienter injicerade med ^{18}F märkta läkemedel. Ett dosratinstrument (Ram GENE mark iii) användes för att mäta doshastigheten vid sju olika mätpunkter och tre olika avstånd. Enligt resultaten uppnådde ingen SSM's dosgränser. Skillnad mellan injicering manuellt och med automatisk injektor visade en stor variation vid erhållna resultat. Dosratmätningarna visade en mycket tydlig sänkning för varje gångavstånd ökade. Mätningarna för internkontamination visade att personalen inte utsattes för höga stråldoser med avseende på internkontamination. Den minsta detekterbara aktivitet var 0,0008 MBq. Det som konstateras utifrån studien är att hantering ^{18}F ger högre stråldoser än $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (200 keV), då den har en mycket högre fotonenergi (511 keV).

Nyckelord: Doshastighet, deterministiska, fingerdoser, fotonenergi, internkontamination, PET, stokastiska

ASSESSMENT OF RADIATION DOSES TO PERSONNEL ACTIVE IN DIAGNOSTIC NUCLEAR MEDICINE

AYA MOHAMMED

Mohammed, A. Assessment of radiation doses to personnel active in diagnostic nuclear medicine. *Degree project in Biomedical Laboratory Science 15 Credits*. Malmö University: Faculty of health and society, Department of Biomedical Science, 2018.

Working staff in nuclear medicine are exposed for radiation in different ways. Mainly by the administration of radiopharmaceuticals, such as injection or disposal, even by being close to the patient after injection of radiopharmaceuticals. With radiation there are risks of damage occurring at the cellular level. Two types of effects are found in the irradiation of tissues, deterministic and stochastic injuries. To reduce the risk of injury, the Swedish radiation safety authority (SSM) has prescribed dose limits that cannot be exceeded. Among other doses, there are limits for the fingers per year. The purpose of the study was to control radiation doses to personnel working in nuclear medicine. In the study finger doses were controlled for personnel within PET / CT, where thermoluminescent dosimeters (TLDs) were placed at six fingertips. Radiation doses were measured at three moments; unpacking of ^{18}F , injection with automatic injector and manual injection of ^{18}F labeled drug. To determine the risk of internal contamination of personnel that performs ventilation studies with $^{99\text{m}}\text{Tc}$ aresol, staff were placed under a gamma camera and the number of pulses detected were translated into activity through measurement of a radiation source (cylinder filled with known activity). In addition, the dose rate was measured around patients injected with ^{18}F fluor-labeled drugs. A dose rate detector (Ram GENE mark iii) was used to measure the dose rate at seven different measuring points and three different distances. Difference between injection manually and with automatic injector showed a large variation in results obtained and SSM's dose limits weren't reached. The dose rate measurements showed a very clear reduction for each time the distance increased. Internal contamination measurements showed that staff were not exposed to high radiation doses regarding internal contamination and the least detectable activity was 0.0008 MBq. The study showed that handling ^{18}F produces higher radiation doses than $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (200 keV), as it has a much higher photon energy (511 keV).

Keywords: dose rate, deterministic, finger doses, internal contamination, PET, photon energy, stochastic.

FÖRORD

Jag vill rikta ett stort tack framförallt till mina handledare Sigrid Leide-Svegborn, Erika Elgström och Renata Madru för deras vägledning genom arbetets gång och för all hjälp med insamling av data och stöd. Jag vill även tacka enhetschefen på strålningsfysik Per Munck AF Rosenschöld för att jag fick utföra min studie i verksamheten. Ett stort tack till enhetschefen på nuklearmedicinska verksamheten, Margareta Anicin, samt personalen för att jag fick utföra mina mätningar på dem. Det har varit en lärorik och rolig upplevelse.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Bakgrund	6
Strålningseffekter på organ och vävnader	7
Dosgränser	8
Detektion av joniserande strålning.....	8
Termoluminiscent detektor, TLD.....	8
RAM GENE-1 mark iii.....	8
Gammakameran	9
Syfte	9
Material och metod	9
Etisk bedömning.....	9
Fingerdos-mätningar	10
Kalibrering av TLD	10
Fingerdosmätning till personal.....	10
Avstånd- och positionsmätning.....	11
Mätning av internkontamination hos nuklearmedicinsk personal	11
Resultat	12
Stråldos till fingrar, panna och bröst till personal som hanterar F-18.....	12
Dosrat vid olika punkter kring en patient som har administrerats med F-18	16
Internkontamination av personal som utför lungventilations-undersökningar med ^{99m} Tc-Teknegas	16
Diskussion	17
Metoddiskussion	17
Resultatdiskussion.....	18
Begränsningar	20
Slutsatser	20
Referenser	22
Bilaga 1	24
Bilaga 2	25
Bilaga 3	26

BAKGRUND

Radioaktiva isotoper utnyttjas inom nuklearmedicinsk verksamhet för diagnostik och terapi. Radioaktiva spårämnen administreras till kroppen bland annat via intravenös injektion, genom inandning eller per oralt. Genom att studera hur spårämnet transporterats och tagits upp i kroppen, får man information om funktionen av kroppens olika organ och vävnader. En radionuklid kopplas till en spårsubstans, beroende på vilken fysiologisk process som ska studeras. Det radioaktiva läkemedlet avger joniserande strålning och om det inte hanteras uppmärksam kan personal och patienten utsättas för onödig stråldos [1–2]. Enligt den internationella strålskyddskommissionen, International Commission on Radiological Protection (ICRP), ska strålskyddet utformas så optimalt som möjligt. Personalen ska arbeta så att bestrålningen blir så liten som möjligt enligt ALARA (As Low As Reasonably Achievable) principen. Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) har, baserat på rekommendationer av ICRP, förskrivit dosgränser för personal som deltar i verksamhet med joniserande strålning. Dosgränser finns även föreskrivet för allmänheten [1].

Det senaste årtiondet har användningen av PET (positronemissionstomografi) undersökningar ökat markant, speciellt med införandet av PET/CT (datortomografi). Fluor-18 märkt FDG (fluorodeoxyglukos) är det mest använda radiofarmakat inom PET-verksamheten. Andra PET-radiofarmakan, exempelvis ^{18}F -choline, ^{18}F -tau och ^{18}F -flutemetamol är inte lika vanligt förekommande. Fluor-18 (^{18}F), är en positronemitterande strålkälla som avger joniserande strålning med hög fotonenergi, 511 keV som produceras i en cyklotron [3]. Personalen som utför undersökningar med ^{18}F -märkta substanser utsätts för huddoser till fingrar och händer vid manuell hantering av det radioaktiva ämnet (t.ex. beredning och inmärkning) samt vid injicering av substansen till patienten [4]. Ekvivalenta dosen till fingrar och händer kan bli väldigt hög hos personal som arbetar med positronemitterande strålkällor [3–5]. Tidigare studier har visat att joniserande strålning från radioaktiva läkemedel (^{18}F) inom nuklearmedicin kan orsaka höga doser till personalen, t.ex. till fingrarna [6]. Det innebär att en kartläggning av stråldosen till fingrarna är nödvändig. Andra studier har dessutom visat att injektion med automatiserade injektorer halverar stråldosen till personal [3]. I och med ^{18}F har hög fotonenergi är det extra viktigt med genomtänkt strålskyddsarbete, exempelvis är blyförkläde som normalt används inom nuklearmedicinsk verksamhet eller röntgenverksamhet inte lämpligt då endast en bråkdel av strålningen stoppas, och därför bär inte personal på PET/CT-kameran blyförkläde [7]. För att minimera stråldosen till personalen från extern ^{18}F -bestrålning bör strålskydd t.ex. sprutskydd av bly eller wolfram användas, och för att begränsa risken för internkontamination är den lämpligaste skyddsutrustningen handskar och labbrock.

ALARA-principen bygger på att minimera stråldosen till personal som arbetar med joniserande strålning. En av principerna för att skydda sig mot strålning är genom att öka avståndet från strålkällan. Fluor-18 FDG som injiceras i patienter inför en PET/CT- undersökning efterliknar kroppens glukosomsättning och ansamlas i kroppens vävnader. Aktivitet ses då i hjärna, hjärta, tarmar, njurar, benmärg, urinblåsa och aktiverade muskler [5]. Det innebär att stråldosen från den utsända strålningen är inte bara avståndsberoende utan även positionsberoende. Genom att kartlägga stråldoser som personal kan utsättas för beroende på avstånd och position kan riktlinjer föras. På så sätt kan personalen anpassa hur de arbetar

lämpligast och hur de förhåller sig till patienten för att arbeta enligt ALARA-principen. Personal utsätts för högre stråldos om de befinner sig en längre tid vid strålkällan, som i detta sammanhang är patienten efter injektion av radioaktivt läkemedel. De främsta faktorerna för att minska strålningsrisken är enligt ALARA-principen kortare tid för strålningssexponering samt tillämpning av strålskärning som till exempel blyförkläde.

Teknetium-99m (^{99m}Tc), är den mest använda radionukliden inom nuklearmedicin för diagnostiska syften. Även om användning av nuklearmedicinska undersökningar är till nytta för patienten, måste strålningsrisken till personalen från det radioaktiva ämnet utvärderas ordentligt. Teknetium-99m produceras i en radionuklidgenerator vid radioaktivt sönderfall av dess modernuklid Molybden-99 (^{99}Mo) och emitterar strålning med en fotonenergi på 140 keV [8].

Vid ventilationsundersökning av lungorna får patienten inhalera en aerosol eller mikropartiklar märkta med ^{99m}Tc genom ett munstycke [8]. Under tiden inhalation sker befinner sig personal bredvid patienten för att ge instruktioner, vilket innebär att de utsätts för en risk för internkontamination. Internkontamination inträffar när den inandade gasen exhaleras av patienten och den radioaktiva gasen andas in av den utsatta personen och ackumuleras i kroppen [9]. Detta medför att personal som utför ventilationsundersökningar löper större risk för internexponering och en kartläggning av stråldosnivån vid sådan internkontamination är angelägen. Enligt strålsäkerhetsmyndigheten måste alla som deltar i arbete med joniserande strålning, kontrolleras med avseende på intern kontamination. Enligt strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter ska ett schema för dessa kontroller finnas som även inkluderar metoder för hur kontrollerna ska ske [10].

Strålningseffekter på organ och vävnader

Nyttan av att använda radioaktiva läkemedel inom nuklearmedicinsk diagnostik är självklar, men strålningsrisken är inte försumbar då det alltid föreligger en viss, om än mycket liten, risk vid exponering av låga nivåer av joniserande strålning. Kroppens celler har ett reparationssystem som reparerar mindre cellskador bland annat uppkomna vid exponering för joniserande strålning. Då en större cellskada uppstår uttrycks det som biologiska effekter av joniserande strålning [1,11]. Två typer av effekter kan förekomma vid bestrålning av vävnader; deterministiska och stokastiska effekter. Deterministiska effekter uppkommer vid kraftig bestrålning av kroppen som medför omfattande celledöd. När flera celler som bygger upp ett organ dör kommer organets hela funktion också att påverkas medan en liten andel cellskada inte påverkar funktionen. Deterministiska effekter är förutsägbara och det finns en tröskeldos som är definierad vilket innebär att om stråldosen understigen denna tröskeldos påvisas inga effekter, men om stråldosen överstiger uppträder effekterna. Dessa effekter påvisas ganska tidigt efter bestrålningen, dagar till veckor efter [1,11]. Stokastiska effekter dvs. cancer och genetiska effekter, kan uppkomma även vid låga stråldoser. Skadan förvärras inte vid ökande stråldos men sannolikheten för effekterna ökar med ökande stråldos, och risken är proportionell mot stråldosen [12]. Effekterna framkommer efter cellgenerationer och är ett resultat av att strålningen orsakat mutationer i arvsmassan. Förändringarna kan leda till cancer men ingen omfattande celledöd så som vid deterministiska effekter. Till skillnad från deterministiska har stokastiska effekter ingen tröskeldos.

Stråldosen definieras som absorberad dos, ekvivalent dos och effektiv dos. Absorberade dosen som man kan mäta eller uppskatta med olika typer av

strålningsdetektorer och enheten är Gray (Gy). Ekvivalent dos (Sievert, Sv) är den absorberade dosen med hänsyn tagen till olika strålningstypers biologiska effekter och effektiv dos (Sievert, Sv) tar även hänsyn till vävnadens strålkänslighet, således är den effektiva dosen den ekvivalenta dosen multiplicerad med organens viktningsfaktor. Genom att förknippa olika organdoser och organens känslighet för strålslaget fås ett mått på effektiv dos och detta mått således korreleras med den totala stokastiska effekten [13–15].

Dosgränser

För att säkerställa att ingen utsätts för oacceptabel bestrålning finns både nationella och internationella föreskrifter som anger den maximala dosgräns en individ får utsättas för under en viss tid. Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, har gett ut föreskrifter om dosgränser till personer i verksamheter med joniserande strålning. Enligt SSM är den ekvivalenta dosgränsen för personals extremitet, där bland annat fingerdoser ingår, 500 mSv per år och den effektiva dosen begränsas till 20 mSv/år [16].

Detektion av joniserande strålning

För att mäta och detektera joniserande strålning används olika instrument som detektorer eller dosimeter. En detektor mäter aktiviteten i ett rum eller runt ett objekt medan en dosimeter fångar upp aktiviteten och loggar personlig exponering [1].

Termoluminiscent detektor, TLD

TLD är små termoluminiscenta dosimetrar som består av litiumfluorid dopade med magnesium och titanium. Dessa har förmågan att samla upp energi när de bestrålas med joniserad strålning. Det innebär att när dosimetrarna bestrålas frigörs elektroner som kolliderar med bundna elektroner i ett så kallat valensband, där elektronerna befinner sig i ett bundet tillstånd. Efter kollisionerna får vissa elektroner tillräckligt med energi för att ta sig från valensbandet till ledningsbandet där de är i ett fritt tillstånd. När sedan de frigjorda elektronerna rör sig i ledningsbandet, förlorar de energin och återvänder tillbaka till valensbandet. Men de elektroner som inte förlorar tillräckligt med energi för att återgå till bundet tillstånd fastnar i excitationfällor. Dessa fällor är olika energinivåer som elektronerna befinner sig mellan valensbandet och ledningsbandet och bildas av mycket små mängder föroreningar av ämnet magnesium eller titanium som finns i litiumfluoridkristallen. När elektroner återvänder tillbaka till valensbandet förloras energin som i sin tur sänds ut som ljus. TLD:n hettas upp i 300–400 °C för avläsning, då frigörs de elektroner som fastnat i excitationfällorna och det ljus som sänds ut registreras av avläsningsenheten. Mängden utsänt ljus är proportionell till den absorberade strålningsenergin [1].

RAM GENE-1 mark iii

RAM GENE mark iii är en bärbar strålningsmätare vars avseende är att mäta gammastrålning. Detektorn i instrumentet är en gasfylld detektor, ett Geiger Müller-rör (GM-rör) där strålningsdetektionen baseras på ett elektriskt fält (katod och anod) i en gas. När strålningen träffar gasen joniseras den och bildar elektriskt laddade partiklar. De positiva jonerna dras mot den negativa katoden och de negativa jonerna dras mot den positiva anoden. Därmed bildas en elektrisk ström som registreras av en amperemeter. Det vill säga strömmen är proportionell mot

antalet bildade jonpar och därmed proportionell mot strålningsmängden som passerat gasen i detektorn [1, 17].

Gammakameran

Systemet i en gammakamera består av detektorer och en dator för datainsamling. Detektorerna registrerar strålningen i ett visst energifönster specificerat för den aktuella radionukliden. Detektorerna i gammakamera består av scintillationskristaller NaI(Tl). När fotonerna som emitteras vid det radioaktiva sönderfallet av radionukliden växelverkar i kristallen mäts scintillationsljuset av flera PM-rör. På så sätt erhålls en bildmässig avbildning på fördelning av det radioaktiva spårämnet i kroppen. För att bilden ska bli representativ samt ha en god upplösning måste fotonerna träffa detektorn på ett geometriskt sätt. Detta sker med hjälp av kollimatorer som placeras framför kristallen [8]. I studien avlägsnades kollimatorerna för att mäta antalet ansamlade fotoner i personalens lungor.

Personal som arbetar i den nuklearmedicinska verksamheten kan utsättas för strålningsexponering på flera olika sätt. Huvudsakligen, externt vid administrering av radiofarmaka till patienten t.ex. vid intravenös injektion och då personal befinner sig nära patienten, samt vid hanteringen av det radioaktiva ämnet, t.ex. vid beredning och avfallshantering. Det finns även risk för internkontamination, och därmed kan intern exponering kan förekomma. Det är därför viktigt att kartlägga stråldoserna till bland annat fingrar och lungor med jämna mellanrum i för att säkerställa att dosgränserna inte överskrider SSM's dosgränser samt för att förhindra skador som kan uppkomma i arbetet.

Syfte

Syftet med studien var att mäta stråldoser vid olika moment inom nuklearmedicin för kontroll av stråldoserna till biomedicinska analytiker.

MATERIAL OCH METOD

Studien bestod av tre olika delmoment för att bestämma stråldosen från olika arbetsmoment till personal på Nuklearmedicin vid Skånes universitetssjukhus (SUS) Malmö. För två av delmomenten utfördes mätningarna på BMA, då det är den yrkesgrupp som hanterar öppna radioaktiva strålkällor på Nuklearmedicin. I det tredje delmoment mättes dosraten på olika avstånd från patienter som remitterats till Nuklearmedicin för en PET/CT-undersökning. Alla mätningarna som gjordes var till fördel för personalen så de kan jobba för att reducera stråldosbelastningen så mycket som möjligt. Patienten påverkades inte av dessa mätningar mer än att de fick ligga på britsen en längre stund.

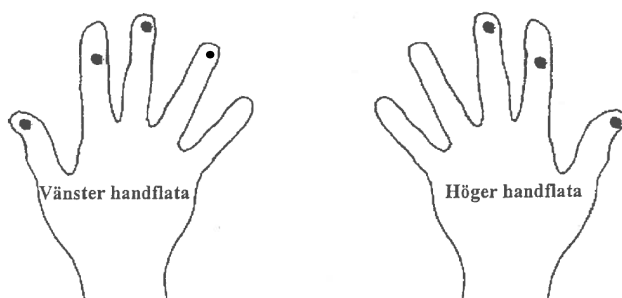
Etisk bedömning

En etik-ansökan skickades till etikrådet på Malmö Universitet innan studiens påbörjan, eftersom patienter remitterade till Nuklearmedicin skulle kunna påverkas i studien. Patienterna fick både skriftlig (Bilaga 2) och muntlig information om studien i samband med den kliniska rutinundersökningen. Patienterna som samtyckte fick skriva på en samtyckesblankett i skriftlig form (Bilaga 3). Informationsbrevet som patienterna mottagit omfattade syftet med studien och huruvida insamling och bearbetning av data kommer att gå till.

Studien utfördes konfidentiellt och patienterna avidentifierades vid redovisning av resultat. Varje patient kodades och data presenterades i medelvärde och standardavvikelse. Resultatet redovisas i form av examensarbete som kommer att publiceras på Malmö Universitets databas MUEP. I informationsbrevet belystes även att deltagarna har all rätt till att avbryta sin medverkan i studien utan närmare motivering vilket innebär att all tillhörande data till deltagaren avlägsnas.

Fingerdos-mätningar

Mätningarna genomfördes på åtta stycken BMA som samtliga arbetar dagligen med PET/CT-undersökningar på nuklearmedicin (SUS Malmö) och därmed hanterar ^{18}F -FDG som en öppen strålkälla. Den ekvivalenta dosen till fingrarna mättes med små termoluminiscenta dosimetrar (TLD) av litiumflourid, $3,2 \times 3,2 \text{ mm}^2$ och 0,89 mm i tjocklek. Dess energisignal utlästes med en utläsningsenhet, (Harshaw 5500, Gammadata Bycron NE, Tyskland) där de värmdes i kväve i 300 grader Celsius. Därpå värmdes dosimetrarna ytterligare i en ugn i 400 grader Celsius för att fullständigt nollställa dem. Vid varje mättillfälle användes en grupp TLD bestående av 20 stycken dosimetrar.



Figur 1. Placering av termoluminiscenta dosimetrar över de mest utsatta fingertopparna.

Kalibrering av TLD

Innan mätningarna påbörjades kalibrerades dosimetrarna i grupper. En ny kalibrerad grupp kan användas i ungefär en månad och måste därefter kalibreras om på nytt. Två och två i en plastpåse paketerades dosimetrarna och tejpades fast på personalens fingrar och mellan ögonen på pannan. Genom kalibrering nollställdes och fastställdes dosimetrarnas dosrespons. TLD-gruppen kalibrerades med en referensstrålkälla ^{90}Sr (Strontium). Den absorberade dosen som dosimetrarna bestrålades med vid kalibrering var 5 mGy. En kalibreringsfaktor som anger dos/signal erhöles för varje dosimeter vid kalibreringen, och då känsligheten för litiumflourid minskar med varje dos och antalet uppvärmningar ökar kalibreringsfaktorn. Innan kalibrering doppades dosimetrarna i etanol för rengöring. För att totalt tömma fällorna och föroreningar värmdes dosimetrarna i en ugn vid 400 grader Celsius i en timme för total tömning. Därefter fick dosimetrarna avkylas på rostfri platta och vila till nästa dag. Dagen därpå innan kalibrering värmdes dosimetrarna 10 minuter i 400 grader Celsius. Vid kalibreringsbestrålning placerades dosimetrarna i en kassett för bestrålning.

Fingerdosmätning till personal

Tjugo stycken dosimetrar packades i påsar i par; varefter påsarna placerades på personalens fingrar, mellan ögonen på pannan, samt på bröstet för helkroppsmätning och en påse användes för bakgrundsmätning. Påsarna tejpades fast på de mest utsatta fingertopparna på både höger och vänster hand, enligt figur 1. Skyddshandskar drogs över händerna för fritt arbete och för att utesluta

kontaminering av dosimetrarna. Dosimetrarna som var avsedda för bakgrundmätning placerades på ett papper i laboratoriet. Personalen hade på sig dosimetrarna under tiden de utförde följande tre arbetsmoment; a) uppäckning och aktivitetsmätning av ^{18}F -märkt radioaktivt läkemedel i glasvial, b) uppdrag av ^{18}F i spruta följt av intravenös injektion till patienten med hjälp av automatisk dispenser-injektor (Medrad[®], Intego) samt c) motsvarande manuell hantering av ^{18}F i sprutan följt av intravenös injektion till patienten utan automatisk injektor, men med sprutskydd av volfram runt sprutan med aktivitet i. Vid uppäckning och aktivitetsmätning av ^{18}F -märkt radioaktivt läkemedel mättes fingerdoserna på biomedicinsk analytiker 1, 2 och 3 vid olika tillfällen. Vid delmoment b) mättes fingerdoserna på biomedicinsk analytiker 4 och 5, vid uppdrag och injicering av ^{18}F med automatisk injektor. Fingerdos mätningarna för delmoment c) gjordes på biomedicinsk analytiker 6, 7 och 8.

Avstånd- och positionsmätning

Dosraten på olika punkter runt en patient som injicerats med ^{18}F -märkt radioaktivt läkemedel, mättes med ett dosrats-instrument (RAM GENE-1, MARK), se figur 2. Mätningar utfördes på tio patienter liggande på britsen till PET/CT-kameran efter bildtagning. Vid sju olika mätpunkter mättes dosraten på tre olika avstånd från patienten, 10 cm, 0,5 meter och 1,5 meter, och vid en mätpunkt mättes dosraten på avståndet 10 cm. Detta gav totalt 19 mätpunkter för vardera patienten. Anledningen till att dosraten i fotändan endast mättes på ett avstånd är att rummet är utformat på så sätt att ett längre avstånd inte kunde erhållas.

Efter ^{18}F -FDG administrerats till patienten och fördelats i kroppen placerades patienten på britsen med armarna över huvudet. Efter bildtagningen påbörjades mätningarna. Mätningarna utfördes med assistans varvid den ena personen utförde mätningarna och den andra noterade mätvärdena i ett protokoll, utformat för denna mätning (Bilaga 1). Momentet med att mäta dosraten korrekt i höjddled och sidled var kritiskt och krävde stor koncentration vilket förklarade behovet av två personer.



Figur 2. Dosratinstrument, stråldos anges i $\mu\text{Sv/h}$ [17].

Mätning av internkontamination hos nuklearmedicinsk personal

Risken för internkontamination av personal vid ventilationsundersökning av patienter med Technetium-99m märkt aerosol ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Technegas) studerades. Kontaminationen på personalen som undersökte mer än två patienter, utvärderades. Personalen fick byta arbetskläder då det fanns en risk att de blivit externt kontaminerade och detta kan då ge fel antal pulser. För att kartlägga stråldosen till lungorna på grund av internkontamination, dvs inhaled $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Technegas i BMAs lungor fick personen lägga sig på en brits under en gammakamera (Evo, Siemens Medical Solutions USA, Inc). Kollimatorerna till gammakameran avlägsnades från detektorn vid mätningen, för att ge möjlighet till

tillräckligt hög puls-statistik vilket inte är möjligt med kollimator på då detektorns känslighet avtar drastiskt med kollimator (medans upplösningen förbättras). Därpå justerades detektorn över thorax så att mätningen kunde utföras. Personalen fick ligga under gammakameran i fem minuter. Antalet pulser som registrerades med hjälp av gammakameran placerad över thorax på personen och som antas komma från ^{99m}Tc -technegasi thorax antecknades. En bakgrundsmätning genomfördes också, dvs med samma protokoll med en mättid på fem minuter utfördes en mätning utan någon person på britsen för att fastställa bakgrundsnivån i rummet. En fantommätning utfördes för att kunna uppskatta aktiviteten i thorax på personalen som mättes. En känd aktivitet, 1 MBq, applicerades i ett fantom och detta fantom mättes vid ett antal tidpunkter på samma sätt som personalen. Baserat på denna kalibreringsmätning kunde en kalibreringskonstant (MBq/kcts) för aktuell mätgeometri tas fram. Denna kalibreringskonstant utnyttjades sedan för att översätta uppmätta pulser i lungorna (kcts) till motsvarande aktivitet (MBq). Aktiviteten avtar med tiden, vid radioaktivt sönderfall och den aktuella aktiviteten korrigerades med hjälp av följande ekvation:

$$A = A_0 \times e^{-\ln(2)(t-t_0)/T_{1/2}}$$

RESULTAT

Skillnad mellan injicering manuellt och med automatisk injektor visade en stor variation vid erhållna resultat, enligt tabell 2 och 3. Högst ekvivalent dos som uppnåddes vid manuell injektion var vänster tumme, 2,41 mSv, medan med automatisk injektor erhöles lägst doser, 0 mSv som lägst (Tabell 2 och 3). BMA 1 som packade upp leveransen av ^{18}F -FDG för första gången fick något högre dos till fingrarna per hanterad aktivitet än sina mera erfarna kollegor, vilket troligen beror på att fingrarna befinner sig i strålfältet under en längre period (Figur 3).

Medeldoshastigheten var som högst vid axelnivå, $1023 \pm 239 \mu\text{Sv/h}$, och som lägst i nivå med knäna, $43 \pm 14 \mu\text{Sv/h}$ (figur 6). Medeldoshastigheten oberoende av aktiviteten ($\mu\text{Sv/h}$, MBq) visade även här att stråldosen vid axelnivå vid 10 cm avstånd var som högst $3,03 \pm 0,55 \mu\text{Sv/h}$, MBq och som lägst i nivå med knäna vid 1,5 meters avstånd $0,13 \pm 0,03 \mu\text{Sv/h}$, MBq (figur 7). Stråldosen i nivå med fötterna var lagom höga angivna i både $\mu\text{Sv/h}$ och $\mu\text{Sv/h}$, MBq detta för att stråldosen mättes med 10 cm avstånd.

Internkontamination påvisades med hjälp av en gammakamera där dosen beräknades som högst till 0,78 MBq för biomedicinsk analytiker 3 och som lägst till 0,0008 MBq för biomedicinsk analytiker 4. Enligt tabell 4 administrerade personalen som mätningen utfördes på, två patienter var. Stråldoserna skiljde sig något mellan biomedicinska analytikerna vilket troligen beror på tiden som man befinner sig i undersökningsrummet.

Stråldos till fingrar, panna och bröst till personal som hanterar F-18
Stråldosen till bröstet och pannan (motsvarande ögonlinsen) var inte alarmerande högt vid något av de olika arbetsmomenten (Tabell 1, 2 och 3). Som högst uppmättes en ekvivalent dos till pannan på 0,06 mSv (uppackning av ^{18}F -FDG). Uppskattningsvis skulle den årliga dosen till panna bli c: a 15 mSv/år om en och samma person packade upp ^{18}F -kollit en gång varje arbetsdag under året.

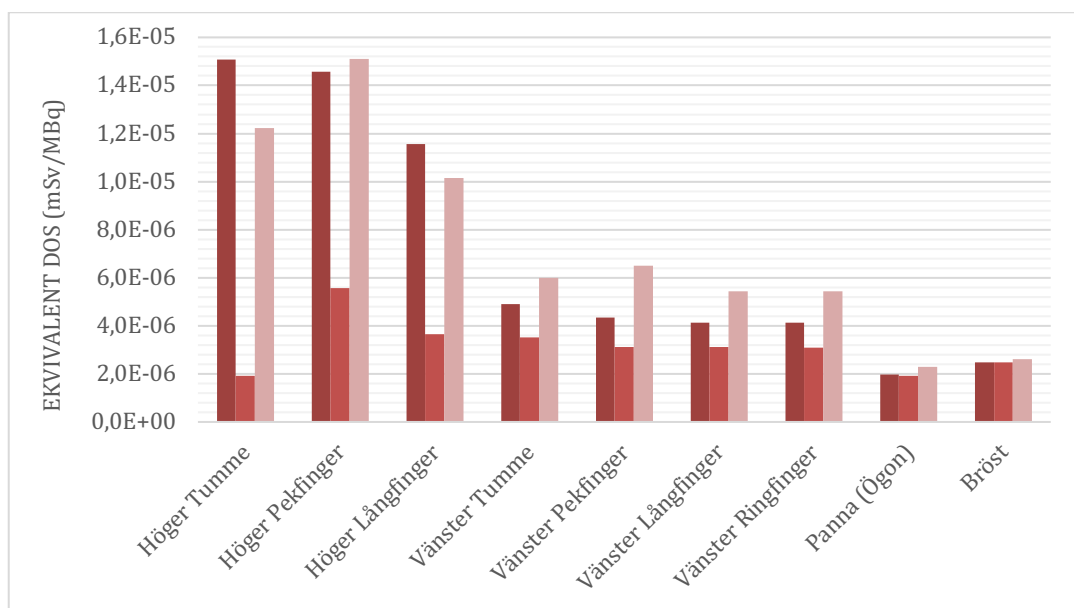
Dosgränsen för ögats lins är 20 mSv. Stråldosen till bröstet som var i samma storleksordning för de tre arbetsmomenten och individerna, som högst 0,07 mSv.

Stråldosen till fingrarna uppvisade större variation beroende på arbetsuppgift och individ (Tabell 1, 2 och 3). BMA 1 som packade upp leveransen av ¹⁸F-FDG för första gången fick något högre dos till fingrarna per hanterad aktivitet än sina mera erfarna kollegor, vilket troligen beror på att fingrarna befinner sig i strålfältet under en längre period (Figur 3).

Tabell 1. Ekvivalent dos (mSv) till fingrar, panna och bröst, uppmätt på tre olika individer vid upppackning av ¹⁸F-FDG.

Stråldos till fingrar Uppackning av ¹⁸ F-FDG (mSv)						
	BMA 1		BMA 2		BMA 3	
Hanterad Aktivitet (MBq)	20 000	24 400	34 320	18 390	14 790	32 990
Panna	0,03	0,06	0,02	0,06	0,05	0,04
Bröst	0,05	0,06	0,04	0,07	0,05	0,06
Höger Tumme	0,57	0,04	0,14	0,09	0,16	0,45
Höger Pekfinger	0,46	0,15	0,14	0,13	0,16	0,64
Höger Långfinger	0,38	0,1	0,12	0,07	0,13	0,38
Vänster Tumme	0,13	0,08	0,13	0,06	0,07	0,24
Vänster Pekfinger	0,1	0,09	0,12	0,05	0,08	0,25
Vänster Långfinger	0,1	0,08	0,12	0,05	0,08	0,18
Vänster Ringfinger	0,1	0,08	0,1	0,06	0,08	0,18

BMA 1 – Biomedicinsk analytiker 1; BMA 2 – Biomedicinsk analytiker 2; BMA 3 – Biomedicinsk analytiker 3



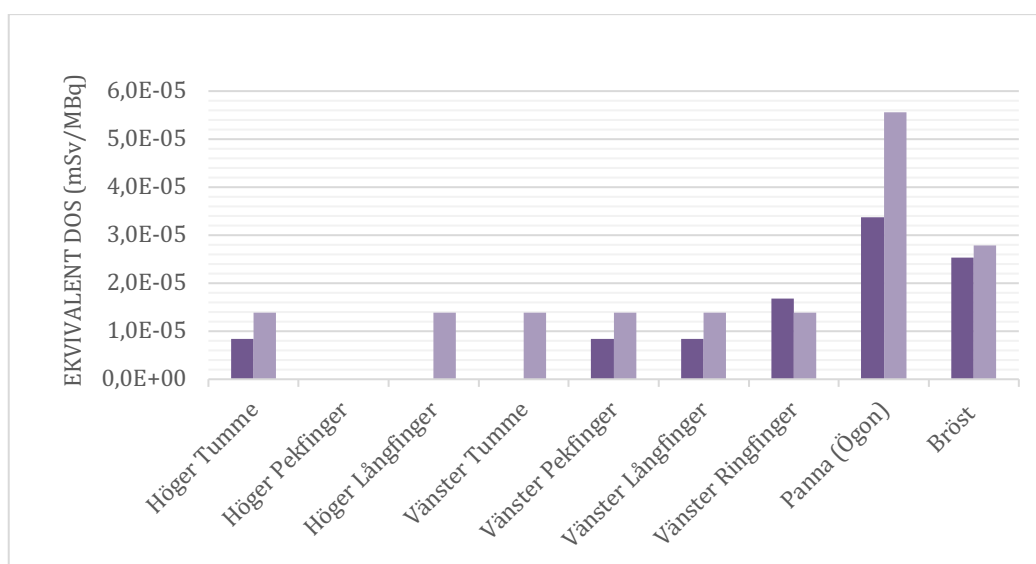
Figur 3. Ekvivalent dos (mSv/MBq) till fingrar, panna och bröst, uppmätt på BMA 1/2/3 (mörk/medel/ljus) vid upppackning av ¹⁸F-FDG. Hanterad medelaktivitet var 26 355 MBq.

Stråldosen till fingrarna vid manuell hantering av ¹⁸F-sprutan (aktivitetsmätning och injicering) blev betydligt högre än då aktivitetsmätningen och injektionen utfördes via automatisk dispenser-injektör (figur 4 och 5).

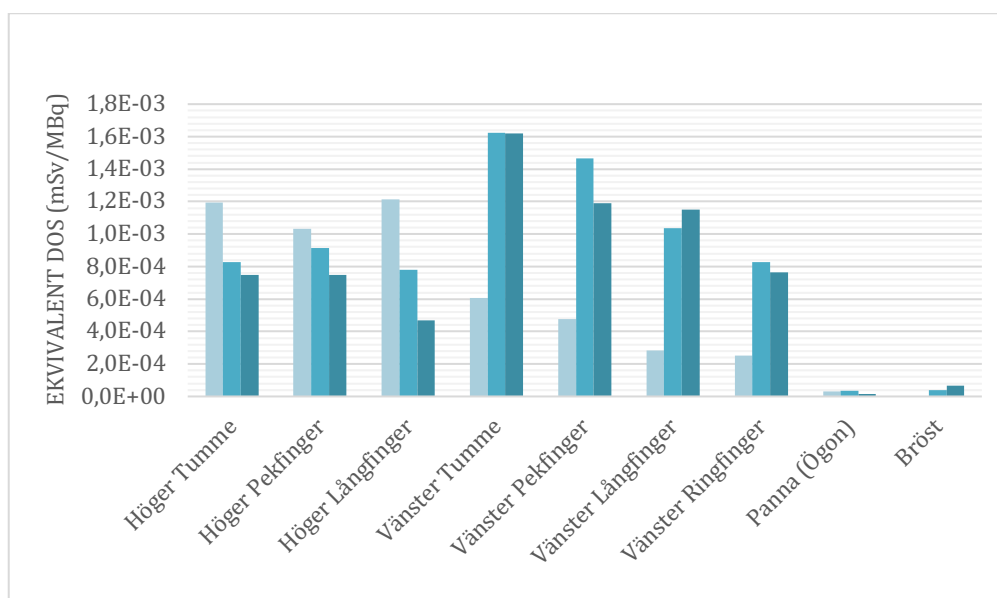
Tabell 2. Ekvivalent dos (mSv) till fingrar, panna och bröst, uppmätt på en individ vid injicering av ¹⁸F-FDG med automatisk injektor.

Stråldos till fingrar Injicering med automatisk injektor (mSv)		
	BMA 4	BMA 5
Hanterad Aktivitet (MBq)	1186	719
Administrerade patienter	4	2
Panna	0,04	0,04
Bröst	0,03	0,02
Höger Tumme	0,01	0,01
Höger Pekfinger	0	0
Höger Långfinger	0	0,01
Vänster Tumme	0	0,01
Vänster Pekfinger	0,01	0,01
Vänster Långfinger	0,01	0,01
Vänster Ringfinger	0,02	0,01

BMA 4 – Biomedicinsk analytiker 4; BMA 5 – Biomedicinsk analytiker 5



Figur 4. Ekvivalent dos (mSv) till fingrar, panna och bröst, uppmätt på BMA 4/5 (mörk/ljus) vid injicering av ¹⁸F-FDG med automatisk injektor. Hanterad medelaktivitet var 952,5 MBq.



Figur 5. Ekvivalent dos (mSv) till fingrar, panna och bröst, uppmätt på BMA 6/7/8 (ljus/medel/mörk) vid manuellt uppdrag och injicering av ^{18}F -choline, -flutemetamol och -tau. Utan automatisk injektor. Hanterad medelaktivitet var 1074 MBq.

Den högsta stråldosen till ett finger uppmättes till 2,4 mSv för en BMA som administrerade ^{18}F till fyra patienter manuellt, dvs med endast wolfram-sprutskydd. Om en individ hanterar fyra patienter på detta sätt, dvs manuellt, en dag i veckan under ett år skulle den ekvivalenta dosen till fingrarna bli som mest c: a 120 mSv. Detta understiger visserligen den årliga dosgränsen till extremiteter på 500 mSv, men det är viktigt att man säkerställer att de undersökningar, där man inte kan använda automatisk injektor, fördelas över flera BMA.

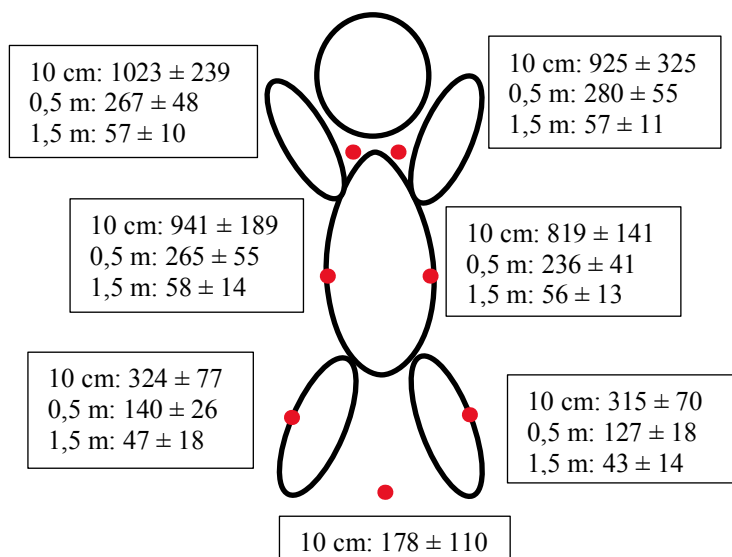
Tabell 3. Ekvivalent dos (mSv) till fingrar, panna och bröst, uppmätt på en individ vid manuellt uppdrag och injicering av ^{18}F -choline, -flutemetamol och -tau. Utan automatisk injektor.

Stråldos till fingrar			
Injicering med sprutskydd			
(mSv)			
	BMA 6	BMA 7	BMA 8
Hanterad Aktivitet (MBq)	1486	747,2	989
Administrerade Patienter	4	4	3
Panna	0,05	0,01	0,03
Bröst	0,06	0,05	0
Höger Tumme	1,23	0,56	1,18
Höger Pekkfinger	1,36	0,56	1,02
Höger Långfinger	1,16	0,35	1,2
Vänster Tumme	2,41	1,21	0,6
Vänster Pekkfinger	2,18	0,89	0,47
Vänster Långfinger	1,54	0,86	0,28
Vänster Ringfinger	1,23	0,57	0,25

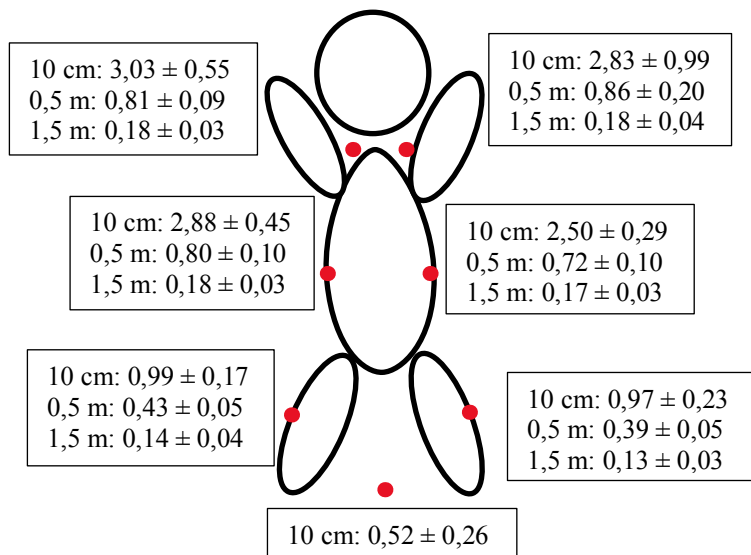
BMA 6 – Biomedicinsk analytiker 6; BMA 7 – Biomedicinsk analytiker 7; BMA 8 – Biomedicinsk analytiker 8

Dosrat vid olika punkter kring en patient som har administrerats med F-18

Medeldoshastigheten var som högst i axelnivå vid 10 cm, 1023 ± 239 $\mu\text{Sv/h}$, och som lägst i nivå med knäna, 43 ± 14 $\mu\text{Sv/h}$ (figur 6). Doshastigheten i nivå med magen var något lägre än doserna i axelnivå. Dosraterna visade större variation ju längre avstånd ifrån källan den mättes, som minskades med 5 gånger. Dosraten i nivå med fötterna var lagom högt, då mätningen gjordes med 10 cm avstånd ifrån strålkällan. Figur 7 visar även att stråldoserna i axelnivå, 1023 ± 239 $\mu\text{Sv/h}$, MBq, gav högst värde medan stråldoserna i nivå med knäna vid 1,5 meters avstånd var lägst, $0,13 \pm 0,03$ $\mu\text{Sv/h}$, MBq.



Figur 6. Dosraten vid 7 olika mätpunkter och 3 varierande avstånd ($\mu\text{Sv/h}$).



Figur 7. Dosraten vid 7 olika mätpunkter och 3 varierande avstånd ($\mu\text{Sv/h}$, MBq).

Internkontamination av personal som utför lungventilationsundersökningar med $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Teknegas

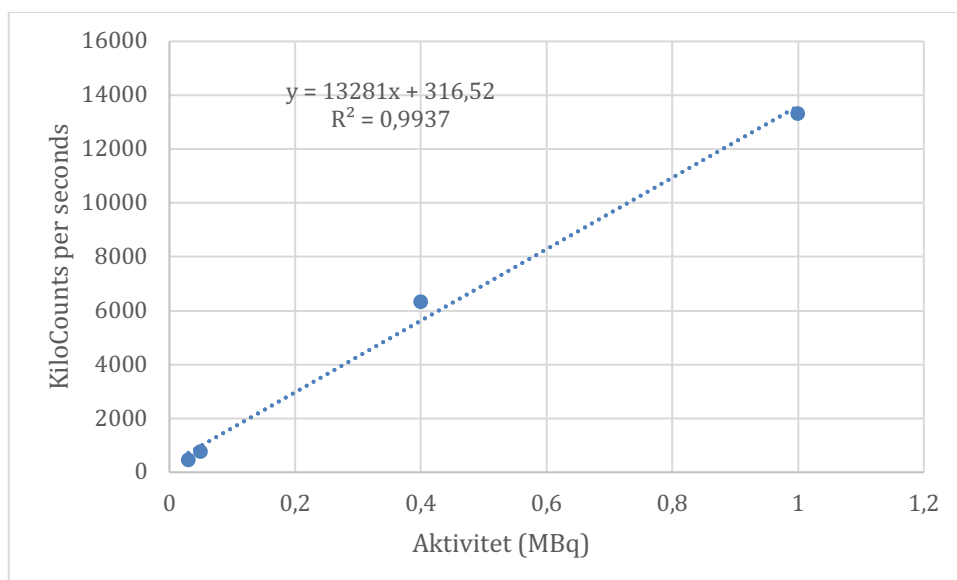
Den effektiva dosen i lungorna beräknades som högst till 0,78 MBq och som lägst till 0,0008 MBq (se tabell 4). Antalet administrerade patienter var detsamma för alla biomedicinska analytiker. Effektiva dosen varierade något beroende på vilken BMA som utförde undersökningarna, dock låg alla under 1 MBq. Det beror

sannolikt på erfarenheten samt tiden som man befinner sig i undersökningsrummet. BMA 4 har lite mer erfarenhet och har jobbat längre än BMA 3. Fantom mätningen som gjordes vid fyra olika tidpunkter mätte den minsta detekterbara aktiviteten vilket gav en linjär kurva (figur 8).

Tabell 4. Aktivitet över thorax vid internkontamination för fem olika individer, vid ett mättillfälle.

	Antal administrerade patienter	Antal pulser (kcts)	Aktivitet (MBq)
BMA 1	2	456	0,03
BMA 2	2	149	0,01
BMA 3	2	10 401	0,78
BMA 4	2	11	0,0008
BMA 5	2	572	0,04

BMA 1 – Biomedicinsk analytiker 1; BMA 2 – Biomedicinsk analytiker 2; BMA 3 – Biomedicinsk analytiker 3; BMA 4 – Biomedicinsk analytiker 4; BMA 5 – Biomedicinsk analytiker 5



Figur 8. Minsta detekterbara aktivitet med mätning av ett fantom vid fyra olika tidpunkter.

DISKUSSION

Personal som arbetar inom nuklearmedicinska verksamheter utsätts för extern strålning. Fördelning av individuella patientdoser och manuell injektion medför höga extrimitetsdoser även om sprutskydd används. Vid vissa fall orsakar den externa strålningen exponering för fingertopparna på mer än 500 mSv, vilket är den årliga dogransen [3,18]. I denna studie har mätningarna bekräftat principer som gäller för arbete med strålning, främst ALARA principen. De främsta faktorer som gäller för att uppnå låga stråldoser är tid, avstånd och skärmning. Därmed uppnådde ingen SSM's dosgränser.

Metoddiskussion

Kartläggning av stråldoser görs rutinmässigt för de verksamheter som utnyttjar joniserande strålning vid Skånes universitetssjukhus i Malmö för att säkerställa att

personalens stråldoser håller sig lägre än SSM's gränser. Thermoluminescenta dosimetrar användes i detta arbete vid mätning av fingerdoserna. TLD används ofta för dosimetriändamål, som vid diagnostisk radiologi, strålterapi och personalmonitorering [19]. TL-dosimetrar förekommer i pulverform fasta former som kristall, band eller stavar. Innan de används måste de packas i påsar för att inte riskera kontaminering. Dock är kristallformen den mest använda typen av dosimeter. Enligt tidigare studier är TLD mycket väl fungerande för mätning av stråldoser. I studien placerade dosimetrarna på fingertopparna då detta är det mest lämpliga tillvägagångssättet för korrekt mätning. Dock är tekniken besvärlig och kan försämra arbetarnas skicklighet och metoden är inte lämplig för vardaglig mätning. För en mer vardaglig mätning är det mer passande att bära en ring innehållande TLD-chips. En sådan TLD-ring är buren på fingrets botten och det har visats att dosen till fingertoppen är tre till sex gånger högre än den dosen som mäts vid fingrets botten [20]. Genom placering av två TLD-chips reduceras risken för oavsiktlig kontaminering [20].

Vid delmomentet för mätning av dosraten vid olika avstånd från en patient som injicerats med ett radioaktivt läkemedel var det lämpligast att använda ett dosratinstrument. Instrumentet innehåller en detektor som registrerar strålningen som träffar den känsliga volymen och ger ett utslag som kan avläsas på instrumentets fönster. Dosraten som mäts anges i enheten $\mu\text{Sv/h}$ och mätområdet för det instrument som användes i arbetet (MGP RAM GENE-1) var 0,05–7000 $\mu\text{Sv/h}$. Instrumentet är känsligt för fotonstrålning i intervallet 5 keV – 1,3 MeV, dvs passar bra för att mäta fotonstrålning från ^{18}F , 511 keV. Mätpunkterna valdes efter hur ^{18}F -FDG ackumuleras i kroppen samt efter hur rummet där patienten befann sig vid mätningen är utformat. Även om tumstock användes för exakta avstånd kan det uppkomma felkällor vid denna typ av mätning. Stråldoserna från de angivna avstånden kan vara oprecisa, då instrumentet inte placerades på noggrann sträcka.

Det tredje delmomentet i studien var en mätning på internkontaminationen som personalen utsätts för vid lungventilationsundersökningar. Mätningarna utfördes med en gammakamera som angav räknehastigheten i kilocounts per second (kcps). Enligt SSM ska internkontamination på personal kartläggas i nuklearmedicinska verksamheter. Det innebär att det ska finnas ett program för kontroll med åtgärdsnivåer. Där ska även finnas ett tidsschema, med typ av kontroll. På Skånes universitetssjukhus Malmö är programmet redan utformat, där mätningarna utförs med gammakamera över thorax på personalen. I och med att stråldoserna mäts över större områden är det lämpligast att använda sig av en gammakamera vid uppskattningen av aktiviteten i lungorna. Ett dosratinstrument hade inte varit tillräckligt då det är för litet och täcker inte större områden.

Resultatdiskussion

Syftet med mätning av fingerstråldoser var att kartlägga stråldoser till fingrarna samt helkroppsdoser och hur mycket en automatisk injektion reducerar strålning som vissa studier antyder [2,3]. Den ekvivalenta dosen till fingrarna varierade avsevärt mellan olika arbetsmoment och individ. Stråldoserna till fingrarna mättes på personal vid uppackning av ^{18}F -FDG, uppdrag och injicering av ^{18}F med och utan injektor. Vid uppackning växlade resultatet beroende på aktiviteten på radionukliden som hanterades. Vid tillfällena när aktiviteten var högre gav det högre stråldoser än vid lägre aktivitet, enligt tabell 1, 2 och 3. När radionukliden anländer till SUS Malmö kommer det i stora blybehållare, detta reducerar onödig

exponering av strålning vid transporten. Det innebär också att när personal ska packa upp och införa det i deras system minskas risken för exponering. Vid upppackning var det högsta resultatet $6,5 \cdot 10^{-6}$ 0,0000065 mSv/MBq och lägsta resultat blev 0,000001 $1,0 \cdot 10^{-6}$ mSv/MBq. Resultatet för fingerdosmätningen vid injicering utan injektor var beroende av hur hög aktivitet som injicerades. För att reducera stråldoserna vid injicering användes sprutskydd av volfram runt sprutorna. En stor skillnad visades mellan dosen vid injicering med och utan injektor. Vid injicering med injektor blev stråldoserna ungefär lika trots skillnaden i hanterad aktivitet och antal hanterade patienter. Vid vissa mättillfällen blev stråldoserna försumbar, enligt figur 6 och tabell 2. Det innebär att injektor medför en stor minskning av stråldoserna. Stråldoserna skiljde sig mellan mätningar på olika försökspersoner och mellan samma försöksperson. Detta visades vid mätning på personal som packade upp ^{18}F -FDG. Eftersom BMA 1 är ganska nyanställd har hon mindre erfarenheter och därmed blev stråldoserna högre jämfört med BMA 2 som har mer erfarenhet, enligt figur 1 och 2. Vid andra mättillfället, tabell 1, finns en skillnad mellan första och andra mätningen för BMA 1. Detta är inte ovanligt då en främre faktor till olika stråldoserna, är erfarenheten. En mer erfaren biomedicinsk analytiker är mer effektiv och ägnar mindre tid i strålfältet än en oerfaren. Detta påvisas i studier där den oerfarna erhöll högre stråldoser än den erfarna [20].

Resultatet vid mätningarna av dosraten på olika avstånd från strålkällan var samstämmiga med varandra. Högre doser visades vid axelhöjd och dosen reducerade ju längre ner i kroppshöjd det mättes. Detta förklaras tydligast genom att ^{18}F -FDG ansamlas i kroppens organ och vävnader och har högst upptag i hjärna [5, 7]. I läge med knäna uppmättes lite lägre dosrater. Då ^{18}F -FDG ackumuleras i bukhålan är det sannolikt därför som en lägre dosrat uppmättes där. Lägst dosrater uppmättes i nivå med fötterna. Detta kan troligast förklaras genom att ^{18}F -FDG som injiceras i blodet cirkulerar i blodbanan och ger utslag vid mätning.

Medelvärde av dosraten på olika avstånd från strålkällan visade dock att ju längre bort från strålkällan personalen stod desto lägre blev dosraten, det vill säga att dosraten avtog ungefär fem gånger var gångavståndet ökade. I och med att stråldosen är avståndsberoende, beskrivet av den så kallade inversa kvadratlagen, som talar om att stråldosen minskar till en fjärdedel med dubblat avstånd till strålkällan [1]. Trefaldig ökning av avståndet reducerar stråldosen till en niondel [1].

Syftet med kartläggning av internkontamination var att utvärdera om personal riskerar att exponeras för stråldoser som överstiger SSM dosgränser. Enligt SSM:s föreskrift om laborieverksamhet med radioaktiva ämnen i form av öppna strålkällor [21] klassificeras olika arbetsmoment som omfattande eller icke-omfattande beroende vilken typ av arbete som utförs, vilken radionuklid och aktivitetsmängd som hanteras. Verksamhet som innefattar arbete med $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (toxicitetklass D) som öppen strålkälla i gasform anses som omfattande arbete om aktiviteten vid arbetsmomentet överstiger 100. Vid lungventilationsundersökningar finns risk för internkontamination av personal med $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -gas och då högre aktivitet än 100 MBq hanteras finns speciella regler och rutiner för hur strålskyddsarbetet ska göras, bland annat ska internkontamination monitoreras och kartläggas. All personal som ingick i detta delmoment undersökte två lungpatienter vardera. Det lägsta aktivitet som erhöles baserat på pulrats-mätningen

över thorax var 0,0008 MBq och den högsta var 0,7 MBq. Denna låga aktivitetsnivå kan troligen förklaras av att BMA på Nuklearmedicin, SUS Malmö är noggranna och uppmärksamma på att följa aktuella strålskyddsregler. Om en och samma biomedicinsk analytiker har två ventilationspatienter och utför dessa undersökningar 100 dagar per år beräknas den effektiva dosen till 0,002–0,12 mSv/år med avseende på internkontamination och den absorberade dosen beräknas till 0,018–0,88 mGy/år på grund av internkontamination. Biomedicinsk analytiker 3, som fick högst stråldos var kontaminerad på armarna som mest och om detta skulle ske varje dag över 100 dagar beräknades den effektiva dosen till 1 mSv/år och absorberade dosen 9 mGy/år. Detta är troligtvis osannolikt då undersökningarna fördelas över flera biomedicinska analytiker och för att ventilationsundersökningar utförs endast på akuta patienter i Malmö sjukhus. I de fall där stråldoserna överskrider SSM's dosgränser är det viktigt att främst se över arbetsrutinerna. Därpå ska arbetsrutinerna ändras för att minimera risken för internkontamination. Kontaminering kan primärt ske genom att radioaktiva ämnen antingen tränger igenom huden, inhaleras via inandning eller kommer in per oralt, genom matsmältningssystemet. Genom att hålla nere risken för kontamineringen skyddar arbetare sig mot intern bestrålning. Detta görs bäst genom att bära skyddskläder och skyddshandskar samt genom att tvätta med tvål och vatten mer än fem gånger om man tror sig fått radioaktiva ämnen på händerna [21, 22]. Trots att handskar är ett optimalt skydd ska de inte användas allt för länge och bör bytas regelbundet eftersom aktiviteten kan diffundera genom handskar och kontaminera händerna. Det är därmed viktigt att kontrollera kontaminering för att upprätthålla låga stråldoser till kroppen [22].

Begränsningar

De främsta begränsningarna som upplevdes var mätningarna som gjordes på personalen. Två av delmomenten i studien utfördes på personal vilket innebar att mätningarna var väldigt beroende av klinikens schema. Thermoluminiscenta dosimetrarna som placerades på fingertopparna för stråldosmätning skickades till Lund för avläsning och därefter skickades tillbaka till Malmö igen för att mätningarna skulle fortsätta. Ventilationsundersökningar med ^{99m}Tc-Technegas utförs endast på akuta patienter vid SUS Malmö. Det innebär att det inte alltid bokas in patienter för en undersökning och vid detta fall var det inte alltid mätningen av internkontaminationen kunde utföras.

SLUTSATSER

Det som kan konstateras utifrån resultaten är att arbete med radionuklider med högre fotonenergier ger högre stråldoser. För personal som administrerar ^{99m}Tc märkta radioaktiva läkemedel är det mindre sannolikt att de utsätts för doser högre än de föreskrivna av strålskyddsmyndigheten. Användning av automatisk injektor reducerar stråldoserna och är ett bättre injektionssystem för att minska risken för högre doser. Detta möjliggör att rotationen på personalen kan vara mindre.

Efter injektion med radiofarmaka ska personalen tänka på att hålla sig så långt ifrån patienten det går. Det innebär att befinna sig minst 1 meter ifrån, i nivå med magen är lämpligast. Detta för att patienten ska känna sig trygg samtidigt som personalen ska exponeras för mindre stråldoser.

I framtiden ska personal alltså vara försiktig vid hantering med radiofarmaka och utvärdering av stråldoser till personalen ska fortsätta regelbundet även om nuklearmedicinska verksamheten i Malmö har god marginal till SSM's dosgränser.

REFERENSER

1. Isaksson M, (2011) *Grundläggande strålningsfysik*. Lund, Studentlitteratur.
2. Leide-Svegborn S, (2010) Radiation exposure of patients and personnel from a PET/CT procedure with ^{18}F -FDG. *Radiation Protection Dosimetry*, 139, 208-213.
3. Covens P, Berus D, Vanhavere F, Caveliers V, (2010) 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*, 140, 250-258.
4. Chruscielewski W, Olszewski J, Jankowski J, Cygan M, (2002) Hand exposure in nuclear medicine workers. *Radiation Protection Dosimetry*, 101, 229-232.
5. Boellard R, Delgado-Bolton R, Oyen J G W, Giammarile F, Tatsch K, Eschner W, Verzijlbergen J F, Barrington F S, Pike C L, Weber A W, Stroobants S, Delbeke D, Donohoe J K, Holbrook S, Graham M M, Testanera G, Hoekstra S O, Zijlstra J, Visser E, Hoekstra J C, Pruim J, Willemsen A, Arends B, Kotzerke J, Bockisch A, Beyer T, Chiti A, Krause J B, (2015) FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 42, 328–354.
6. Dobrzyńska M M, Pachocki K A, Gajowik A, Radzikowska J, Sackiewicz A, (2014) The Effect Occupational Exposure to Ionizing Radiation on the DNA Damage in Peripheral Blood Leukocytes of Nuclear Medicine Personnel. *J Occup Health*, 56, 379-386.
7. Madsen M T, Anderson J A, Halama J R, Kleck J, Simpkin D J, Votaw J R, Wendt R E, Williams L E, Yester M V, (2006) American association of physicists in medicine task group 108: PET and PET/CT shielding requirements. *Med Phys*, 33, 4-15.
8. Hietala S O, Åhlström R K (red.), (2013) *Nuklearmedicin (2:a upplaga)*. Lund, Studentlitteratur
9. Krajewska G, Pachocki A K, (2013) Assessment of exposure of workers to ionizing radiation from radioiodine and technetium in nuclear medicine departmental facilities. *Medycyna Pracy*, 64, 625–630.
10. SSMFS 2008:28. Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om laborativ verksamhet med radioaktiva ämnen i form av öppna strålkällor

11. Aspelin P och Pettersson H (red.), (2008) *Radiologi* (1:a upplaga). Lund, Studentlitteratur
12. Cournoyer E M, Costigan A S, Schreiber B S, (2017) Addressing as low as reasonably achievable (ALARA) issues: Investigation of worker collective external and extremity dose data. *Journal of Chemical Health and Safety*, 24, 44-50.
13. Harisson J D, Streffer C, (2007) The ICRP protection quantities, equivalent and effective dose: their basis and application. *Radiation Protection Dosimetry*, 127, 12-18.
14. Streffer C, (2004) Can tissue weighting factors be established for the embryo and fetus. *Radiation Protection Dosimetry*, 112, 519-523.
15. Harrison J D, Balonov M, Martin C J, Ortiz L P, Menzel H G, Simmonds J R, Smith-Bindman R, Wakeford R, (2016) Use of effective dose. *Ann ICRP*, 45, 215-224.
16. SSMFS 2008:51. Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om grundläggande bestämmelser för skydd av arbetstagare och allmänhet vid verksamhet med joniserande strålning.
17. Rotem industries Ltd, (2017) *Ram GENE-1 meter*. ><http://www.rotem-radiation.co.il> <PDF (2018-03-10)
18. Pant G, Sharma S, Rath G, (2006) Finger doses for staff handling radiopharmaceuticals in nuclear medicine. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 34, 169-173.
19. Sadeghi M, Sina S, Faghihi R, (2015) Investigation of LiF, Mg and Ti (TLD-100) Reproducibility. *Journal of Biomedical Physics & Engineering*, 5, 217-222.
20. Leide-Svegborn S, (2012) External radiation exposure of personnel in nuclear medicine from ^{18}F , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ and ^{131}I with special reference to fingers, eyes and thyroid. *Radiation Protection Dosimetry*, 149, 196-206.
21. Kron T, (1994) Thermoluminescence dosimetry and its application in medicine – Part 1: Physics, materials and equipment. *Australian Physical & Engineering, Science in Medicine*, 17, 175-199.
22. Sten Carlsson & Sven-Eric Svensson, (2007) *Svensk förening för nuklearmedicin*. ><http://www.sfnm.se> <PDF (2018-02-28)

BILAGA 1

POSITIONS OCH AVSTÅNDSMÄTNING

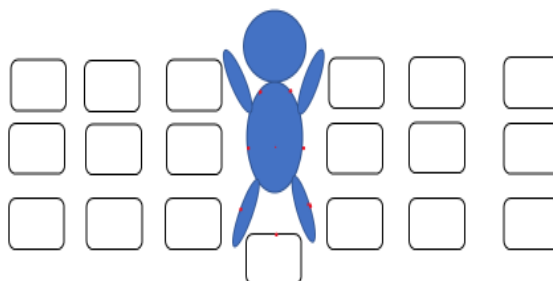
Datum:

Klockslag för mätning:



Patient nr:

Aktivitet injicerad:

Klockslag för injicering:



BILAGA 2

 Informationsbrev		Bilaga 1
Projektets titel (obligatoriskt): Praktiskt strålskydd för personal verksamma inom diagnostisk nuklearmedicin	Datum: 2018-01-25	
Studieansvarig/a: (student/er) Aya Mohammed	Studerar vid Malmö universitet, Fakulteten vid hälsa och samhälle, 205 06 Malmö, Tfn 040- 6657000	
Din E-post	Utbildning: Biomedicinsk analytiker utbildning Nivå: Kandidat	
<p>Hej, Mitt namn är Aya Mohammed och jag är en student på Malmö Universitet. Jag läser på biomedicinsk analytikerutbildningen, termin 6. Jag skriver mitt examensarbete inom strålningsfysik med speciell inriktning mot personal-strålskydd i nuklearmedicin.</p> <p>Syftet med mitt projekt är att kartlägga stråldoserna till personalen på nuklearmedicin som hanterar radioaktiva läkemedel. En väsentlig del av projektet är att mäta stråldos-nivån runt patienter som genomgår en PET/CT undersökning. Mätningen görs med strålskyddsinstrument vid olika mätpunkter i rummet. Insamlade data är: injicerad aktivitet (enhet MBq), tidpunkt vid injektion och tidpunkt vid doshastighetsmätning samt resultatet av mätningen (enhet mikroSievert per timme) på olika avstånd (enhet cm) från patienten. Publiceringen sker i rapportform till Malmö Universitet och informationen kan inte kopplas till någon individuell patient. Anledning till att vi ber om ditt samtycke är att undersökningen kan ta någon minut längre tid än förväntat.</p> <p>Ditt deltagande i studien är helt frivilligt. Du kan när som helst avbryta ditt deltagande utan närmare motivering.</p> <p>Konfidentialitet eftersträvas i undersökningen genom att ingen obehörig får ta del av materialet. Materialet förvaras så att det bara är åtkomligt för oss/mig som är undersökningsledare. I rapporteringen av resultatet i form av en examensuppsats på Malmö Universitet eller i annan form av publicering kommer informanterna att avidentifieras så att det inte går att koppla resultatet till enskilda individer.</p> <p>Om du har ytterligare frågor om deltagandet i studien är du välkommen att kontakta mig via mejl eller telefon;</p> <p>Härmed tillfrågas Du om deltagande i studien</p> 		

BILAGA 3

Samtycke från deltagare i projektet Bilaga 2

Projektets titel: Praktiskt strålskydd för personal verksamma inom diagnostisk nuklearmedicin	Datum: 2018-01-25
Studieansvarig/a: Aya Mohammed	Studerar vid Malmö Universitet, Fakulteten vid hälsa och samhälle, 205 06 Malmö, Tfn 040-6657000
Din E-post	Utbildning: Biomedicinsk analytikerutbildning
<p>Jag har muntligen informerats om studien och tagit del av bifogad skriftlig information. Jag är medveten om att mitt deltagande är frivilligt och att jag när som helst och utan närmare förklaring kan avbryta mitt deltagande.</p>	
<p>Jag lämnar härmed mitt samtycke till att delta i ovanstående undersökning:</p> <p>Datum:</p> <p>Deltagarens underskrift:</p>	