

Kertas Asli/Original Articles**Penilaian Dos Sinaran ke Atas Gonad dan Tiroid Semasa Prosedur PET-CT
(Radiation Dose Assessment on Gonad and Thyroid during PET-CT Procedures)**

RUKIAH A. LATIFF, AKMAL SABARUDDIN & NORFADILAH MAT NOR

ABSTRAK

Gonad dan tiroid merupakan organ radiosensitif yang memerlukan pelindung sinaran untuk mengurangkan dos yang diterima. Walau bagaimanapun, pelindung sinaran tidak digunakan secara meluas dalam pengimejan radionuklid kerana ianya berat, kurang selesa dan boleh mendatangkan kesakitan pada tulang belakang. Oleh itu, penyelidikan ini dijalankan untuk mengetahui keupayaan pelindung sinaran gonad dan tiroid yang lebih nipis dan ringan dalam mengurangkan dos sinaran. Satu kajian telah dijalankan di Hospital Putrajaya untuk menentukan dos sinaran yang diterima oleh tiroid dan gonad semasa prosedur lengkap Tomografi Pancaran Positron-Tomografi Berkomputer (PET-CT) dengan dan tanpa pelindung sinaran. Seramai 6 orang kakitangan lelaki telah dipilih sebagai subjek dan data daripada 33 prosedur lengkap PET-CT telah dikumpulkan. Untuk setiap prosedur PET-CT, tiroid dan gonad subjek masing-masing dilindungi menggunakan pelindung sinaran berketebalan 0.5 mm model Mavig 615 (USA) dan Shielding International (USA). Cip dosimeter pendarkilau terma (TLD) digunakan sebagai pengesan dos sinaran. Purata radioaktiviti ^{18}F -FDG yang disuntik ke dalam pesakit adalah 387 MBq dan purata tempoh imbasan adalah 9.224 ± 1.797 minit. Keputusan menunjukkan purata dos setara yang diterima oleh tiroid dengan dan tanpa pelindung adalah masing-masing 0.080 ± 0.033 mSv dan 0.078 ± 0.039 mSv. Purata dos setara yang diterima gonad dengan dan tanpa penggunaan pelindung pula adalah masing-masing 0.059 ± 0.040 mSv dan 0.061 ± 0.030 mSv. Pelindung sinaran berketebalan 0.5 mm tidak berupaya mengurangkan dos sinaran yang diterima oleh tiroid ($p = 0.76$) dan gonad ($p = 0.79$) akibat terlalu nipis untuk menahan sinaran bertenaga tinggi semasa prosedur PET-CT. Tiroid menerima dos sinaran yang lebih tinggi sebanyak 0.016 mSv berbanding gonad ($p < 0.05$) kerana kedudukan tiroid yang lebih terdedah kepada sumber sinaran iaitu ^{18}F -FDG semasa penyediaan radiofarmaseutikal tersebut dan pesakit yang sudah disuntik ^{18}F -FDG semasa prosedur PET-CT.

Kata kunci: Dos setara, Alat pelindung sinaran, TLD

ABSTRACT

Thyroid and gonads are radiosensitive organs which requires radiation shield to reduce the dose received. However, radiation shielding is not widely used in radionuclide imaging because it is heavy, uncomfortable and can cause pain in the spine. Therefore, a research was carried out to determine the ability of thyroid and gonad radiation shield which is thinner and lighter in reducing radiation dose. A study was conducted in Hospital Putrajaya to determine the radiation dose received by the thyroid and gonads during a complete Positron Emission Tomography-Computed Tomography (PET-CT) procedure with and without radiation shield. A total of six male staffs have been chosen as subject and data from 33 complete PET-CT procedures have been collected. For every PET-CT procedure, the subject's thyroid and gonad were shielded using 0.5-mm thick radiation shielded, model Mavig 615 (USA) and Shielding International (USA) respectively. Thermal luminescent dosimeter (TLD) chips were used as radiation dose detector. The average ^{18}F -FDG radioactivity administered to the patient was 387 MBq and the average scan time is 9.224 ± 1.797 minutes. The results showed that the mean equivalent dose received by the thyroid with and without shielding were 0.080 ± 0.033 mSv and 0.078 ± 0.039 mSv respectively. The mean equivalent dose received by gonad with and without shielding were 0.059 ± 0.040 mSv and 0.061 ± 0.030 mSv respectively. Radiation shield with 0.5 mm thickness is unable to reduce radiation dose received by the thyroid ($p = 0.76$) and gonads ($p = 0.79$) because it is too thin to resist the high-energy radiation during PET-CT procedures. Thyroid receive higher radiation dose of 0.016 mSv compared to the gonads ($p < 0.05$) because the thyroid's position is more exposed to radiation sources which are ^{18}F -FDG during radiopharmaceutical preparation and patients after administered with ^{18}F -FDG during PET-CT procedure.

Keywords: equivalent dose, radiation shield, TLD

PENGENALAN

Tomografi Pancaran Positron-Tomografi Berkomputer (PET-CT) adalah teknik pengimejan diagnostik yang menggunakan radiofarmaseutikal *2-fluorine-18 fluoro-2-deoxy-D-glucose* (^{18}F -FDG). Teknik ini telah memberi banyak manfaat kepada pesakit misalnya dalam penentuan kedudukan lesi dan berupaya untuk mendiagnos suatu patologi dengan lebih cepat dan tepat dengan hanya satu pemeriksaan sahaja (Watson et al. 2005). Namun kakitangan yang terlibat dalam prosedur PET-CT terdedah kepada sinaran mengion bertenaga 0.511 MeV yang dipancarkan oleh ^{18}F -FDG (Zong Jian et al. 2003). Oleh itu, dos sinaran yang diterima oleh kakitangan perlu dipantau (Robinson et al. 2005; Pant & Senthamizhchelvan 2006). Walau bagaimanapun di Malaysia, kajian mengenai penentuan dos sinaran terhadap kakitangan PET-CT masih kurang dijalankan berbanding dengan negara-negara luar (Castronovo & Schleipman 2007; Chiesa et al. 1997; Guillet et al. 2005; Hayashi et al. 2005; Pant & Senthamizhchelvan 2006; Roberts et al. 2005; Robinson et al. 2005; Seierstand et al. 2006).

Lunberg et al. (2002), Clarke et al. (1997) & Seierstad et al. (2006) telah mengukur dos seluruh tubuh dan mengkaji keseragaman dos yang diterima oleh juruteknologi dengan menguji kedudukan TLD atau dosimeter yang strategik sebagai bahan rujukan. Tetapi mereka tidak mengkaji dos yang diterima oleh organ radiosensitif yang berdekatan kolar atau dada iaitu tiroid dan pinggang iaitu gonad. Mosley & Currie (2007) telah mengkaji tentang kedudukan strategik dosimeter perseorangan iaitu pendarkilau dosimeter (TLD) dalam menentukan dos seluruh tubuh semasa bekerja di dalam perubatan nuklear di Australia. Berdasarkan keputusan soal selidik, kebanyakan pekerja amat menitikberatkan dos sinaran pada gonad mereka. Oleh itu, kajian perlu dilakukan bagi mengetahui dos sinaran yang diterima oleh organ tiroid dan gonad kakitangan di Malaysia semasa mengendalikan prosedur PET-CT.

Menurut Roberts et al. (2005), ketebalan plumbum yang mampu mengurangkan separuh daripada jumlah dedahan bagi tenaga foton 0.511 MeV adalah 4.1 mm. Walau bagaimanapun, alat pelindung sinaran yang sedia terdapat di Jabatan Perubatan Nuklear, Hospital Putrajaya hanyalah setebal 0.5 mm. Akan tetapi, pelindung sinaran ini tidak digunakan secara meluas di Jabatan Perubatan Nuklear kerana ramai yang kurang memahami konsep penggunaan pelindung sinaran, kurang selesa dan boleh mendatangkan kesakitan pada tulang belakang kerana pelindung sinaran adalah berat. Jisim apron setara plumbum setebal 0.5 mm adalah 8.4 kg dan ini mengganggu pergerakan kakitangan ketika mengendalikan prosedur PET-CT (Warren-Forward 2007).

Daripada kajian yang dijalankan ini, kakitangan dapat mengetahui dos sinaran yang diterima oleh tiroid dan gonad dengan dan tanpa penggunaan pelindung sinaran dan seterusnya dapat mengenal pasti kelemahan prosedur rutin klinikal yang diamalkan. Selain itu, kakitangan juga dapat

mengetahui tentang kepentingan pemakaian pelindung sinaran iaitu sebagai langkah untuk mengurangkan dos sinaran yang diterima.

Selain daripada dapat memberi manfaat kepada kakitangan PET-CT, kajian ini juga diharap dapat memberi impak yang besar kepada pakar perubatan dalam menjangka bilangan imbasan yang akan ditentukan supaya kakitangan PET-CT tidak menerima dos sinaran secara berlebihan.

Dalam kajian ini, dos sinaran yang diterima oleh kakitangan semasa menjalankan prosedur PET-CT tanpa penggunaan alat pelindung sinaran akan dibandingkan dengan dos sinaran yang diperolehi semasa penggunaan alat pelindung sinaran tiroid dan gonad berketebalan 0.5 mm. Oleh itu, keupayaan alat pelindung sinaran tersebut dalam mengurangkan dos sinaran yang diterima oleh kakitangan PET-CT akan diketahui.

BAHAN DAN KAEDAH

Kajian ini telah mendapat kelulusan Jawatankuasa Etika Penyelidikan Universiti Kebangsaan Malaysia (JEPUKM) dengan kod NN-024-2009 dan subjek telah menyatakan persetujuan untuk menyertai kajian ini. Populasi kajian terdiri daripada kakitangan Jabatan Perubatan Nuklear, Hospital Kuala Lumpur (HKL) yang mengendalikan prosedur PET-CT ke atas pesakit di Hospital Putrajaya (HPj). Subjek kajian terdiri daripada 6 orang kakitangan lelaki kerana hanya 6 orang kakitangan sahaja yang terlibat dan bertugas mengendalikan prosedur PET-CT. Organ sasaran dalam kajian ini adalah tiroid dan gonad.

Kriteria inklusif subjek untuk kajian ini adalah 1) bekerja di Jabatan Perubatan Nuklear, HKL sebagai Penolong Pegawai Perubatan (PPP), 2) mengendalikan prosedur PET-CT dengan julat radioaktiviti radiofarmaseutikal ^{18}F -FDG antara 240 MBq hingga 600 MBq (Nabi & Zubeldia 2002), 3) mengendalikan prosedur pada orang dewasa, 4) sihat tubuh badan, 5) mempunyai pengalaman bekerja mengendalikan prosedur rutin di perubatan nuklear umum lebih dari satu tahun, 6) layak dan berkebolehan menyuntik pesakit, 7) pernah menjalani kursus dan latihan pengendalian prosedur PET-CT, 8) terpilih untuk bertugas di PET-CT, Jabatan Perubatan Nuklear, HPj, 9) mempunyai pengalaman mengendalikan prosedur PET-CT sekurang-kurangnya 6 bulan dan dipantau oleh PPP yang berpengalaman, 10) berinteraksi dengan pesakit, 11) mengamalkan etika kerja yang baik dan 12) mengendalikan prosedur lengkap PET-CT dengan betul dan teratur.

Pelindung tiroid (*Mavig 615, USA*) dan gonad (Shielding International, USA) yang digunakan adalah pelindung berasaskan plumbum dengan ketebalan 0.5 mm setiap satu. Ujian kawalan kualiti dilakukan pada pelindung tiroid dan gonad untuk memastikan ia dalam keadaan yang baik, tidak mempunyai garis rekahan dan memberi perlindungan yang optimum apabila diposisikan dengan betul.

Bagi pengukuran dos sinaran semasa penggunaan pelindung, 2 cip TLD dilekatkan pada kiri dan kanan bahagian dalam pelindung tiroid iaitu di hadapan kelenjar tiroid pada paras servikal keenam atau bahagian atas inlet torasik untuk mengukur dos pada tiroid (Amdur & Mazzaferri 2005). Dua cip TLD yang lain dilekatkan pada bahagian dalam pelindung gonad iaitu berhadapan dengan testis kiri dan kanan pada jarak 10 cm inferior kepada spina iliak hadapan superior (ASIS) untuk mengukur dos pada gonad (Tortora & Derrickson 2006). Seterusnya, subjek dipakaikan dengan kedua-dua pelindung tersebut. Pelindung pertama iaitu pelindung tiroid bersaiz kecil dan mudah dilentur mengikut bentuk leher. Ia dililitkan pada keseluruhan batang leher. Pelindung kedua adalah pelindung gonad yang dililit pada pinggang. Kemudian, dua cip TLD yang lain dilekatkan pada permukaan luar kedua-dua pelindung supaya terdedah pada persekitaran. Kedudukan cip tersebut adalah sama seperti kedudukan cip TLD semasa penggunaan pelindung. Kedua-dua cip ini digunakan untuk mengukur dos sinaran tanpa menggunakan pelindung.

Bacaan latar belakang perlu diambil sebagai kawalan untuk mengurangkan ralat bacaan pada TLD dan ia juga membantu dalam pengiraan dos yang diterima oleh subjek semasa pengendalian prosedur PET-CT. Dalam kajian ini, 4 cip TLD diletakkan di bahagian yang tidak terdedah dengan bahan radioaktif iaitu di bilik panel kawalan PET-CT sepanjang masa bekerja.

Setelah TLD dilekatkan pada pelindung dan pelindung tersebut dipakai oleh kakitangan, satu prosedur lengkap PET-CT dijalankan berdasarkan Pant et al. (2006). Terdapat lima langkah rutin bagi menjalankan prosedur lengkap tersebut iaitu 1) proses menyedut ^{18}F -FDG ke dalam picagari 2) pengukuran jumlah dos ^{18}F -FDG yang disedut oleh picagari 3) proses penghantaran 4) menyuntik pesakit dengan ^{18}F -FDG dan 5) memposisikan pesakit di dalam pengimbas PET-CT.

Cip TLD yang telah didedahkan disimpan pada suhu bilik dan jauh daripada sumber cahaya pada tempoh sekurang-kurangnya 24 jam. Tujuan cip ini dibiarkan dalam satu tempoh yang lama adalah untuk membenarkan elektron di dalam cip TLD menyerap sinaran berada dalam keadaan stabil seterusnya mengelak ralat bacaan dos sinaran. Proses pembacaan dos sinaran yang diserap oleh TLD selepas penyinaran dilakukan dengan memasukkan cip ke dalam lubang pada cakera pembawa TLD (setiap cakera mengandungi 50 lubang).

Cakera pembawa TLD kemudiannya dimasukkan ke dalam mesin pembaca TLD (Harshaw 5500, USA, 2003). Dos sinaran dibaca dalam unit nanocoulomb (nC). Terdapat lima peringkat pengiraan untuk menukarkan dos sinaran dalam unit nC kepada dos setara dalam unit milisievert (mSv) iaitu 1) Faktor pembetulan individu cip (ICF), 2) Bacaan bersih dos sinaran, 3) Dos dedahan sinaran, 4) Dos terserap dan 5) Dos setara.

ICF diperolehi dengan membahagikan faktor pembetulan piawai bagi 100 miliRoentgen (mR) dedahan

dengan bacaan TLD selepas proses tentukan dalam unit nanoCoulomb (nC) seperti persamaan (1) iaitu (Manual for TLD Reader 2003):

$$\text{ICF (mR/nC)} = \frac{\text{Faktor pembetulan piawai bagi 100 mR}}{\text{Bacaan TLD selepas proses tentukan (nC)}} \quad (1)$$

Bacaan bersih dos sinaran pula didapati daripada hasil tolak bacaan dos daripada uji kaji dengan purata bacaan sinaran latar belakang seperti yang ditunjukkan oleh persamaan berikut (Manual for TLD Reader 2003):

$$\text{Bacaan bersih dos sinaran (nC)} = \frac{\text{Bacaan dos daripada uji kaji (nC)} - \text{Purata bacaan sinaran latar belakang (nC)}}{\quad} \quad (2)$$

Selepas itu, bacaan dos dedahan diperolehi daripada hasil darab bacaan bersih dos sinaran (nC) dengan ICF (mR/nC) iaitu (Manual for TLD Reader 2003):

$$\text{Dos dedahan (mR)} = \text{Bacaan bersih dos sinaran (nC)} \times \text{ICF (mR/nC)} \quad (3)$$

Bacaan dos terserap dalam unit milirad (mrad) diperolehi daripada hasil darab dos dedahan sinaran (mR) dengan 0.97 rad (Persamaan 4). Nilai 0.97 rad adalah jumlah tenaga yang diserap oleh tisu tubuh apabila didedahkan dengan 1 Roentgen (R) dos sinaran (Wood 2007).

$$\text{Dos terserap (mrad)} = \text{Dos dedahan (mR)} \times 0.97 \text{ rad/R} \quad (4)$$

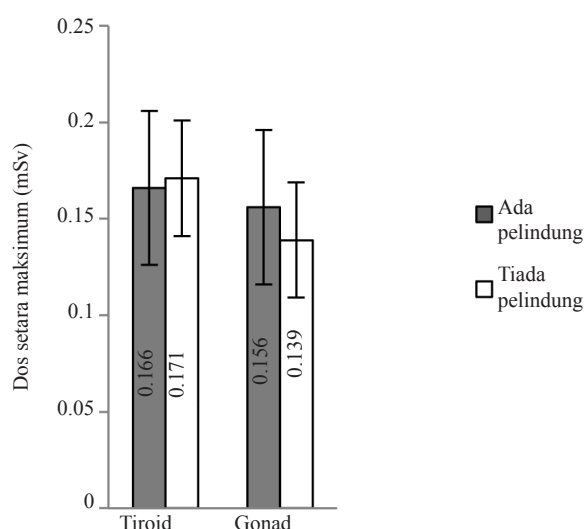
Kemudian bacaan dos setara dalam unit miliSievert (mSv) diperolehi daripada hasil darab dos terserap dengan faktor pemberat sinaran W_R dan faktor pengubahsuaian, N (Johns & Cunningham 1983). Mengikut Suruhanjaya Antarabangsa bagi Perlindungan Radiologi (ICRP 60), nilai W_R bagi sinaran- γ semua tenaga iaitu 1 dan N juga ialah 1.

$$\text{Dos setara (mSv)} = \text{Dos terserap (mrad)} \times W_R \times N \quad (5)$$

Data dianalisis menggunakan *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) versi 16.0 untuk menjalankan ujian kenormalan Kolmogorov-Smirnov dan ujian T-berpasangan bagi membandingkan purata dos setara yang diterima oleh tiroid dengan dan tanpa penggunaan alat pelindung dan purata dos setara yang diterima oleh gonad dengan dan tanpa alat pelindung. Perbandingan purata dos setara yang diperolehi oleh tiroid dan gonad juga dilakukan dengan menggunakan ujian kenormalan Kolmogorov-Smirnov dan ujian Mann-Whitney dengan aras keyakinan 95% dan ralat 5%. Untuk tujuan tersebut, data dos setara dengan dan tanpa penggunaan pelindung bagi setiap organ digabungkan untuk mendapatkan saiz sampel yang lebih besar bagi menghasilkan inferens statistik yang meyakinkan.

HASIL KAJIAN

Sebanyak 33 set data bagi prosedur lengkap Tomografi Pancaran Positron/Tomografi Berkomputer (PET-CT) telah dikumpul sepanjang uji kaji dilaksanakan. Purata radioaktiviti ^{18}F -FDG yang disuntik ke dalam pesakit adalah 387 MBq dan purata tempoh imbasan adalah 9.224 ± 1.797 minit. Rajah 1 menunjukkan dos setara maksimum yang diterima oleh tiroid adalah lebih tinggi berbanding gonad samada dengan penggunaan alat pelindung sinaran atau tanpa alat pelindung sinaran.



RAJAH 1. Dos setara maksimum yang diterima oleh tiroid dan gonad semasa menggunakan pelindung dan tanpa menggunakan pelindung

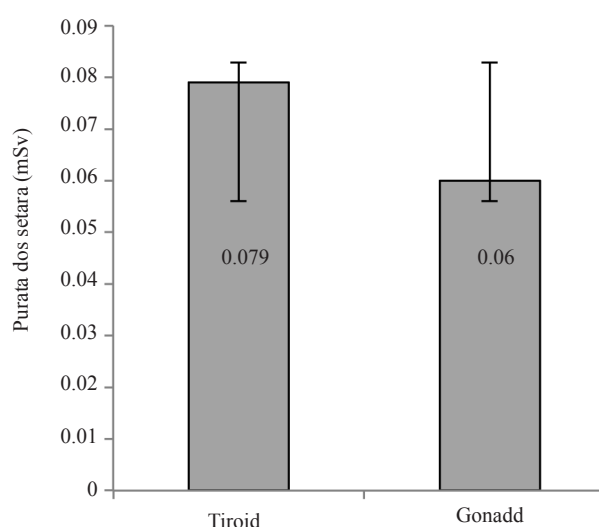
Hasil kajian juga mendapati dos setara yang diterima oleh gonad berkurang sebanyak 0.002 mSv apabila menggunakan pelindung sinaran. Manakala bagi tiroid, dos setara yang diterima bertambah sebanyak 0.002 mSv apabila menggunakan pelindung sinaran. Walau bagaimanapun, perubahan dos setara yang diterima oleh gonad dan tiroid adalah tidak bererti secara statistik ($p > 0.05$). Oleh yang demikian, penggunaan pelindung sinaran tidak dapat mengurangkan dos yang diterima oleh tiroid dan gonad (Jadual 1).

JADUAL 1. Purata dos setara yang diterima oleh tiroid dan gonad masing-masing dengan dan tanpa alat pelindung

Organ	Tanpa pelindung (mSv)	Dengan pelindung (mSv)	Nilai p	CI
Tiroid (n=33)	0.078 ± 0.039	0.080 ± 0.033	0.756	(0.014, 0.011)
Gonad (n=33)	0.061 ± 0.030	0.059 ± 0.040	0.787	(0.013, 0.016)

$z = 1.96$ (berdasarkan 95% paras keyakinan)

Oleh sebab tiada perbezaan dos setara yang diterima oleh tiroid dan gonad dengan dan tanpa pelindung, maka 33 data dos setara bagi tiroid dan gonad dengan dan tanpa pelindung masing-masing digabungkan menjadikan jumlah data 66 (Vakhtangandze et al. 2005). Kaedah tersebut dilakukan bagi membandingkan dos setara yang diterima oleh tiroid dan gonad. Rajah 2 menunjukkan purata dos setara yang diterima oleh tiroid adalah lebih tinggi sebanyak 0.019 mSv berbanding gonad. Oleh kerana wujud data terpencil dan mempengaruhi nilai purata, nilai median digunakan bagi menggambarkan dos setara sebenar yang diterima oleh tiroid dan gonad. Daripada Jadual 2, didapati tiroid menerima dos setara 0.026 mSv lebih tinggi berbanding gonad ($p < 0.05$).



RAJAH 2. Purata dos setara yang diterima oleh organ tiroid dan gonad selepas penggabungan data tanpa pelindung dan dengan pelindung dilakukan

JADUAL 2. Median dos setara yang diterima oleh tiroid dan gonad selepas penggabungan data tanpa pelindung dan dengan pelindung dilakukan

Organ	Median (IQR)(mSv)	Nilai z	Nilai p
Tiroid (n = 66)	0.081(0.043)	-3.159	0.000
Gonad (n = 66)	0.055(0.052)		

PERBINCANGAN

Hasil kajian ini mendapati penggunaan pelindung tidak dapat mengurangkan dos secara bererti pada tiroid dan gonad. Keputusan ini berbeza berbanding kajian yang telah dijalankan oleh Warren-Forward et al. (2007) yang mendapati alat pelindung berasaskan plumbum dengan ketebalan 0.5 mm mampu mengurangkan dos sebanyak 76%. Walaupun bahan dan ketebalan pelindung yang digunakan di dalam kajian beliau adalah sama seperti kajian ini, hasil kajian beliau berbeza kerana bahan radioaktif

yang digunakan adalah ^{99m}Tc yang menghasilkan sinar- γ bertenaga 140 keV berbanding ^{18}F -FDG yang bertenaga 511 keV yang digunakan di dalam kajian ini. Ini kerana keupayaan penyerapan foton oleh atom adalah bergantung kepada nombor atom (Z) bahan tersebut dan tenaga insiden (E) iaitu $\sigma \propto Z^5/E^2$ (Guy & Ffytche 2000). Oleh yang demikian, penyerapan foton oleh plumbum akan berkurang apabila tenaga insiden meningkat menyebabkan tenaga sinar gama yang dihasilkan oleh ^{18}F -FDG mempunyai daya penembusan yang tinggi berbanding sinar- γ bertenaga 140 keV dan pelindung berasaskan plumbum dengan ketebalan 0.5 mm tidak mampu menghalang sinar- γ bertenaga 511 keV daripada mengenai organ sasaran.

Menurut Ngaile & Muhogora (2004), kesan fotoelektrik yang terjadi pada tenaga 33 keV hingga 100 keV adalah tindak balas yang paling dominan dan menyebabkan TLD lebih sensitif pada tenaga tersebut. Oleh itu, bacaan yang diperolehi adalah tidak tepat kerana dos yang terkumpul pada TLD bukan 100% daripada sumber radioaktif tetapi adalah dos campuran daripada tenaga pengikat petala-K iaitu 88 keV dan 511 keV. Bagi mengatasi masalah ini, penggunaan sistem penuras pada pemegang TLD dan penggunaan lembaran Teflon untuk mendapatkan bacaan dos yang tepat telah dicadangkan (Robinson et al. 2005).

Hasil kajian mendapati tiroid menerima dos yang lebih tinggi berbanding gonad. Keputusan kajian ini selari dengan kajian Lunberg et al. (2002) yang mendapati bacaan dos pada kolar adalah 70% lebih tinggi berbanding pinggang ketika menyuntik pesakit. Ini disebabkan oleh kakitangan yang terpaksa membongkok dan mendekatkan kepala kepada pesakit semasa menyuntik pesakit dengan radiofarmaseutikal. Hal ini menyebabkan organ tiroid lebih terdedah kepada sinaran berbanding organ gonad. Oleh yang demikian, Warren-Forward (2007) telah mencadangkan agar pelindung picagari digunakan semasa suntikan dijalankan. Robert et al. (2005) mendapati bahawa pelindung picagari tungsten setebal 12.7 mm setara plumbum dan cerpurata kaca 8.7 mm setara plumbum telah berjaya mengurangkan dos sebanyak 44%.

Selain itu, jarak organ tiroid ketika menyuntik pesakit adalah kurang daripada 0.5 m. Walaupun gonad juga berada pada jarak kurang dari 0.5 m daripada pesakit, ia dilindungi oleh troli dan bekas penghantaran serta kurang terdedah berbanding organ tiroid. Tambahan pula, ketika memposisikan pesakit di bilik imbasan, meja pengimbas akan dinaikkan ke paras pinggang dan kakitangan juga akan membongkok menghampiri pesakit untuk mengemaskan kedudukan pesakit. Pada masa ini juga kedudukan organ tiroid adalah lebih hampir kepada pesakit berbanding organ gonad. Jarak organ tiroid yang lebih hampir kepada pesakit menyebabkan dos yang diterima lebih tinggi. Dalam situasi ini, dos sinaran yang diterima bergantung kepada faktor jarak antara sumber sinaran dan organ sasaran (Hayashi et al. 2005 & Pant et al. 2006).

Kajian ini mendapati dos yang diterima oleh kakitangan PET-CT, Hospital Putrajaya adalah sangat tinggi berbanding Benatar et al. (2000) dan Robinson et al. (2005).

Walaupun protokol prosedur bagi kajian ini hampir sama, perbandingan secara tepat tidak boleh dilakukan kerana para pengkaji terdahulu tidak menggunakan alat pelindung, bukan mengukur dos tiroid dan gonad, dosimeter yang digunakan berbeza dan purata masa dedahan terhadap sumber juga jauh berbeza.

Nilai dos maksimum perlu diambil kira untuk menganggar dos yang diterima oleh pekerja sinaran (Chiesa 1997). Daripada kajian ini, nilai maksimum dos yang diterima oleh tiroid dan gonad adalah 0.17 ± 0.04 mSv dan 0.15 ± 0.04 mSv setiap satunya. Dianggarkan terdapat 174 kes setahun di Jabatan Perubatan Nuklear, Hospital Putrajaya. Oleh itu, anggaran dos maksimum yang diterima oleh tiroid dan gonad dengan jumlah prosedur setahun ialah 30.16 ± 7.85 mSv dan 26.10 ± 6.96 mSv masing-masing. Keputusan menunjukkan kedua-dua organ masih berada di bawah had dos tahunan yang dicadangkan oleh ICRP iaitu 300 mSv (tiroid) dan 50 mSv (gonad).

KESIMPULAN

Hasil kajian ini mendapati pelindung tiroid dan gonad berasaskan plumbum setebal 0.5 mm tidak dapat mengurangkan dos yang diterima oleh semasa kakitangan menjalankan prosedur PET-CT akibat terlalu nipis untuk menahan sinaran bertenaga tinggi (511 keV) semasa prosedur PET-CT. Oleh yang demikian, alat pelindung tersebut tidak boleh digunakan sebagai pelindung untuk mengurangkan dos sinaran. Tiroid menerima dos sinaran yang lebih tinggi sebanyak 0.026 mSv berbanding gonad kerana kedudukan tiroid yang lebih terdedah kepada sumber sinaran iaitu ^{18}F -FDG semasa penyediaan radiofarmasutikal tersebut dan pesakit yang sudah disuntik ^{18}F -FDG semasa prosedur PET-CT.

PENGHARGAAN

Ketua Jabatan Perubatan Nuklear, Hospital Putrajaya, Dr. Lee Boon Nang atas kebenaran menjalankan kajian di jabatan tersebut dan semua kakitangan Jabatan Perubatan Nuklear, Hospital Putrajaya, atas kerjasama yang telah diberikan.

RUJUKAN

- Amdur, R.J. & Mazzaferri, E.L. 2005. *Essential of Thyroid Cancer Management*. New York: Springer Science + Business Media Inc.
- Benatar, N.A., Cronin, B.F. & O'Doherty, M.J. 2000. Radiation dose rates from patients undergoing PET: implication for technologists and waiting areas. *European Journal of Nuclear Medicine* 28(1): 583-589.
- Castronovo, F.P. & Schleipman, R. 2007. Patient and occupational dosimetry. Dlm. *Cardiac PET and PET/CT imaging: General Considerations for Perforpuratag PET and Integrated PET/CT*, disunting oleh Di Carly, M.F., & Lipton, M.J. New York: Springer.

- Cherry, S.R., Sorenson, J.A. & Phelps, M.E. 2003. *Physics in Nuclear Medicine*. Ed. ke-3. Philadelphia, PA: Saunders.
- Chiesa, C., De Sanctis, V., Crippa, F., Schiavini, M., Fraigola, C.E., Bogni, A., Pascali, C., Decise, D., Marchesini, R. & Bombardieri, E. 1997. 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* 24(11): 1380-1389.
- Clarke, E.A., Notghi, A. & Harding, L.K. 1997. Are MIBI/tetrafosurata heart studies a potential radiation hazard to technologists? *Nuclear Medicine Communication* 8(1): 574-577.
- Guillet, B., Quentin, P., Waultier, S., Bourrely, M., Pisano, P. & Mundler, O. 2005. Technologist radiation exposure in routine clinical practice with ¹⁸F-FDG PET. *Journal of Nuclear Medicine Technology* 33(1): 175-179.
- Guy, C. & Ffytche, D. 2000. *An Introduction to the Principle of Medical Imaging*. London: Imperial College Press.
- Hayashi, K., Tayama, R., Shibata, K., Honda, T., Morimoto, M., Izumida, T., Horikawa, T., Kanaya, S. & Kusakabe, K. 2005. Development of a simple method to evaluate medical staff radiation dose and its application to a software system supporting PET facility operation. *Radiation Protection Dosimetry* 116(1-4): 196-201.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP). 1990. *Recommendations of the ICRP*. Publication 60, International Commission on Radiological Protection. Oxford, England: Pergamon.
- Johns, H.E. & Cunningham, J.R. 1983. *The Physics of Radiology*. Ed. ke-4. USA: Charles C Thomas.
- Lundberg, T.M., Gray, P.J., Bartlett & M.L. 2002. Measuring and minimizing the radiation dose to nuclear medicine technologists. *Journal of Nuclear Medicine Technology* 30(1): 25-30.
- Nabi, H.A. & Zubeldia. 2002. Clinical applications of ¹⁸F-FDG. *Journal of Nuclear Medicine Technology* 30(1): 3-9.
- Ngai, J.E. & Muhogora, W.E. 2004. Performance characteristic of lif thermoluminescent dosimeters employed in the National Personnel Radiation Dose Services in Tanzania. *Journal of Radiological Protection* 24(1): 155-164.
- Pant, G.S. & Senthamizhchelvan, S. 2006. Radiation exposure to staff in a PET-CT facility. *The Indian Journal of Nuclear Medicine* 21(4): 100-103.
- Pant, G.S., Sharma, S.K. & Rath, G.K. 2006. Finger doses for staff handling radiopharmaceuticals in nuclear medicine. *Journal of Nuclear Medicine Technology* 34(1): 169-173.
- Roberts, F.O., Gunawardana, D.H., Pathmaraj, K., Wallace, A., Paul, L.U., Tian, M., Berlangieri, S.U., O'Keefe, G.J., Rowe, C.C. & Scott, A.M. 2005. Radiation dose to PET technologist and strategies to lower occupational exposure. *Journal of Nuclear Medicine Technology* 88(1): 17-21.
- Robinson, C.N., Young, J.G., Wallace, A.B. & Ibbetson, V.J. 2005. A study of the personal radiation dose received by the nuclear medicine technologists working in a dedicated PET center. *Radiation Safety Journal* 88(1): 17-21.
- Seierstad, T., Stranden, E., Bjerding, K., Evenson, M., Holt, A., Michalsen, H.M. & Wetteland, O. 2006. Doses to nuclear technicians in a dedicated PET/CT centre utilizing ¹⁸F fluorodeoxyglucose (FDG). *Radiation Protection Dosimetry* 123(2): 246-249.
- Tortora, G.J. & Derrickson, B. 2006. *Principles of Anatomy and Physiology*. Ed. ke-11. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2002. Sources and effects of ionizing radiation. *UNSCEAR 2000*. Report: Vol. I: Sources.
- Vakhtangand, T., Hall, D.O., Zananiri F.V. & Rees, M.R. 2005. The effect of Butterworth and Metz reconstruction filters on volume and ejection fraction calculations with ^{99m}Tc gated myocardial SPECT. *The British Journal of Radiology* 78: 733-736.
- Warren-Forward, H., Cardew, P., Smith, B., Clack, L., McWhirter, K., Johnson, S. & Wessel, K. 2007. A comparison of dose savings of lightweight apron for shielding of ^{99m}Tc-Technetium radiation. *Radiation Protection Dosimetry* 124(2): 89-96.
- Watson, C.C., Townsend, D.W. & Bendriem, B. 2004. PET/CT system. Dlm. *Emission Tomography: The Fundamental of PET and SPECT*, disunting oleh Wernick, M.N. & Aarsvold, J.N. London: Elsevier Academic Press.
- Wood, A.K. 2007. *Perlindungan Sinaran*. Ed. Ke-3. Bangi: Agensi Nuklear Malaysia.
- Zong Jian, C., Corley, J.H. & Allison, J. 2003. ¹⁸F Protection issues: Human and γ -camera consideration. *Journal of Nuclear Medicine Technology* 31(4): 210-215.

Rukiah A. Latiff
 Program Pengimejan Diagnostik & Radioterapi
 Pusat Pengajian Sains Diagnostik & Kesihatan Gunaan
 Fakulti Sains Kesihatan, Universiti Kebangsaan Malaysia
 Jalan Raja Muda A. Aziz, 50300, Kuala Lumpur

Pengarang untuk dihubungi: Rukiah A. Latiff
 Alamat emel: rukiah@fskb.ukm.my
 Tel: 603-26878087, Fax: 603-26878108

Diterima: November 2011
 Diterima untuk penerbitan: January 2012