

Dose absorvida e efetiva em mulheres submetidas a exames de PET-CT para diagnóstico oncológico

Priscila do Carmo Santana¹, **Paulo Márcio Campos de Oliveira**^{1,2}, **Arnaldo Prata Mourão Filho**³, **Felipe Dias Bernardes**¹, **Marcelo Mamede**¹, **Teógenes Augusto da Silva**²

¹ Universidade Federal de Minas Gerais; ² Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear; ³ Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

E-mail: pridili@gmail.com

Resumo: Foram avaliadas as doses absorvidas em órgãos e a dose efetiva resultante dos exames de PET-CT em mulheres com o radiofármaco ¹⁸F-FDG para diagnóstico oncológico em varreduras de corpo inteiro. O modelo biocinético da ICRP-106, simuladores antropomórficos e detectores termoluminescentes foram utilizados na determinação das doses depositadas. Os resultados mostraram que 60% do valor da dose efetiva do exame de corpo inteiro é proveniente da incorporação do radiofármaco, sendo a dose efetiva (5,80 ± 1,57) mSv. A dose nas pacientes submetidas ao exame ¹⁸F-FDG PET-CT pode ser reduzida utilizando técnicas de aquisição de imagens apropriadas e otimização da prática.

Palavras-chave: Dose absorvida; dose efetiva; PET-CT.

Abstract: The absorbed dose in several organs and the effective dose in patients submitted to PET-CT exams with the radiopharmaceutical ¹⁸F-FDG were assessed. The ICRP-106 biokinetic model and thermoluminescent detectors in a anthropomorphic phantom were used. The use of the PET-CT image acquisition protocol, with the CT protocol for anatomical mapping, showed that 60% of effective dose was from the radiotracer administration, being the effective dose values for a female patient of (5.80 ± 1.57) mSv. In conclusion, patient doses can be reduced by using appropriate imaging acquisition in ¹⁸F-FDG PET-CT examinations and promoting the compliance with the radiation protection principles.

Keywords: Absorbed dose; Effective dose; PET-CT.

1. INTRODUÇÃO

O PET-CT tem se destacado por combinar os recursos diagnósticos da medicina nuclear que produz imagens da distribuição molecular com a radiologia que gera imagens anatômicas. Assim é possível obter, simultaneamente, informações

anatômicas e funcionais. Os equipamentos de PET-CT são sistemas constituídos por acoplamento de dois tomógrafos, um PET e um CT helicoidal de qualidade diagnóstica, possibilitando a fusão das imagens metabólicas do PET às imagens anatômicas do CT. Este exame diagnóstico consegue associar a alta

sensibilidade metabólica do PET, e a alta resolução espacial do CT, permitindo uma correlação anatômica até então impossível de ser realizada. Essa característica da imagem gerada no PET-CT possibilita a detecção precoce e a localização precisa de uma lesão.

Por ter duas modalidades de diagnóstico acopladas, esta técnica diagnóstica quando comparada a outras, submete os pacientes a níveis de radiação mais elevados (HUANG, 2009). Porém, a confiabilidade e a possibilidade do diagnóstico precoce, em casos de indicação clínica, compensam a possibilidade de detrimento causado pela maior deposição de energia no paciente.

Os níveis mais elevados de radiação se devem ao fato de que, além dos níveis de radiação proveniente do radiofármaco administrado, o paciente recebe também a radiação emitida pelo tomógrafo computadorizado. Outro fator importante, relacionado aos níveis de radiação em pacientes submetidos a esta técnica diagnóstica, reside no fato de protocolos serem adaptados de acordo com o tipo de equipamento tomográfico utilizado. Assim, a alteração dos parâmetros técnicos dos protocolos é motivo determinante para a existência de diferentes técnicas de aquisição da imagem.

Por existirem equipamentos e protocolos distintos, torna-se importante a realização da avaliação dosimétrica nos pacientes submetidos ao diagnóstico com utilização de radiação ionizante. Além disso, o conhecimento das doses em pacientes é parte da nova cultura de proteção radiológica, sendo uma exigência em muitos países (ICRP, 2007).

O estudo da dose absorvida no órgão e a dose efetiva nos pacientes submetidos ao PET-CT para diagnóstico e estadiamento oncológico permitem a otimização dos procedimentos de radiodiagnóstico e demonstram a aplicação dos princípios de proteção radiológica (ICRP, 2006).

Dessa maneira é possível obter imagens de qualidade diagnóstica com o mínimo de exposição do paciente.

No Brasil estima-se para o ano de 2014 aproximadamente 274.230 novos casos de câncer em mulheres. Muitos desses casos podem ser diagnosticados ou podem ter seu estadiamento feitos através da tecnologia PET-CT. Por isso, torna-se importante o conhecimento dos níveis de radiação aos quais estas pacientes estão submetidas.

2. METODOLOGIA

Para o estudo da dose absorvida e dose efetiva nas pacientes submetidas ao PET-CT oncológico, utilizou-se o equipamento de PET-CT *Discovery 690 (D-690)* da fabricante *General Electric (GE)*.

A avaliação das doses absorvida e efetiva provenientes da CT, foram realizadas com a utilização do simulador antropomórfico Alderson Rando[®] na versão feminina, que é um dispositivo universalmente aceito para esse fim. Este objeto simulador consiste de um esqueleto humano envolvido em um material polimérico com características tecido equivalentes.

A versão feminina deste simulador antropomórfico tem as dimensões de uma mulher padrão de aproximadamente 1,55 m de altura e massa de 50 kg e a versão masculina tem as dimensões de aproximadamente 1,75 m de altura e massa de 73,5 kg (OLIVEIRA, 2012).

Para avaliar as doses absorvidas, dosímetros foram posicionados no interior desse simulador nos pontos de interesse. Foram escolhidos dosímetros termoluminescentes, previamente selecionados e calibrados, constituídos de fluoreto de lítio dopados com magnésio e titânio (LiF:Mg,Ti – TLD-100) no formato Rod (cilíndrico), fabricados pela *Harshaw Chemical Company*. Estes dosímetros fabricados com

LiF:Mg,Ti no formato bastão possuem 1 mm de diâmetro e 5 mm de comprimento.

Para determinação da dose efetiva resultante dos exames para diagnóstico oncológico de PET-CT, utilizou-se duas metodologias distintas, uma para o PET e outra para a CT.

Desse modo, as doses absorvida e efetiva no exame de PET-CT foram obtidas com a soma algébrica dos valores dessas grandezas no PET e na CT determinadas separadamente.

2.1. Avaliação das doses absorvida e efetiva provenientes do $^{18}\text{F-FDG}$ PET

Utilizando as informações das doses administradas em 40 pacientes submetidos ao PET-CT para diagnóstico oncológico, foi possível estimar a contribuição à dose absorvida e à dose efetiva de cada paciente devido à incorporação do radiofármaco $^{18}\text{F-FDG}$. De acordo com o modelo proposto pela ICRP 106, são utilizados coeficientes ($\Gamma_T^{18\text{F-FDG}}$) que permitem calcular o valor da dose absorvida nos órgãos (D_T) a partir da atividade radioativa (A) injetada e assim determinar a dose efetiva nos pacientes (E) a partir do fator de ponderação para cada tecido ou órgão (w_T), do fator de ponderação para o tipo da radiação (w_R), do radionuclídeo injetado (F^{18}) e idade do paciente, conforme Equações 1 e 2:

$$D_T = \Gamma_T^{18\text{F-FDG}} \cdot A \quad (1)$$

$$E = \sum [w_T \cdot \Sigma(D_T \cdot w_R)] \quad (2)$$

Foram utilizados apenas dados de pacientes consideradas adultas, ou seja, com idade igual ou superior a 16 anos.

A atividade de radiofármaco injetada em cada uma dessas pacientes foi determinada a partir do peso delas e correspondente a $3,7 \text{ MBq.kg}^{-1}$ ($0,10 \text{ mCi.kg}^{-1}$).

2.2. Estudos das doses absorvida e efetiva provenientes da tomografia computadorizada (CT)

As doses absorvida e efetiva recebidas pelos pacientes durante a realização do exame de $^{18}\text{F-FDG}$ PET-CT provenientes exclusivamente da CT foram avaliadas por meio da utilização de detectores termoluminescentes inseridos nos simuladores antropomórficos Alderson Rando[®] em pontos correspondentes a órgãos mais radiosensíveis e com maior probabilidade de exposição devido à sua inserção no campo de radiação ou à sua proximidade a ele (cristalino, tireoide, mamas, cérebro, hipófise, pulmão, coração, bexiga, cólon sigmoide, intestino, rim, fígado, vesícula, pâncreas, baço, medula, estômago e ovários).

Foram selecionados vários pontos por órgão baseado em seu volume e, para cada ponto selecionado, foram inseridos três detectores TLD-100 encapsulados, de modo a aumentar a confiabilidade metrológica das medições.

Após seu preparo, os simuladores antropomórficos foram submetidos aos protocolos de aquisição de imagens similares aos dos pacientes oncológicos e foi realizada uma única irradiação.

Como a imagem do CT, no $^{18}\text{F-FDG}$ PET-CT, tem a finalidade de localização anatômica do órgão, segue-se um mesmo protocolo para todas as pacientes, independente da indicação clínica.

Primeiramente é realizado um *scout* ao longo de uma distância de 150 cm do paciente no eixo crânio-caudal, utilizando tensão de 120 kV, corrente elétrica de 10 mA e tempo de rotação do tubo de 1 s, com início na parte superior da cabeça.

Para a aquisição da imagem de CT, o ponto de partida da aquisição de dados (base do crânio) é verificado com base na imagem obtida com o *scout* e são utilizadas tensão de 120 kV, corrente

elétrica automática variando entre 10 e 120 mA, espessura do feixe de 40 mm, espessura de corte de 0,625 mm, pitch de 0,984, velocidade da mesa de 39,37 mm por rotação, tempo do tubo de 0,7 s, índice de ruído de 25,00 com um comprimento de varredura de 98,0 cm no simulador feminino, terminando na raiz da coxa, portanto somente essa região recebe diretamente o feixe primário de radiação X.

3. RESULTADOS

Entre as 40 pacientes 19 apresentavam câncer de pulmão, 1 apresentava linfoma, 13 câncer de reto e 7 câncer de mama.

3.1. Resultado das doses absorvida e efetiva provenientes do $^{18}\text{F-FDG PET}$

Para maior aproximação dos valores da dose absorvida e efetiva proveniente da incorporação do radiofármaco $^{18}\text{F-FDG}$, considerou-se a atividade real injetada em cada paciente, ou seja, a diferença medida entre as atividades presentes na seringa antes e após a injeção. A atividade real injetada variou entre 150,6 MBq e 396,0 MBq.

Na figura 1, são mostrados os perfis de distribuição de dose absorvida por órgãos nos pacientes do sexo feminino. É possível observar que a dose absorvida nas mulheres é mais representativa na bexiga com o 3º quartil em 43 mGy, seguido também do coração e cérebro com 3º quartil em 24 mGy e 15 mGy, respectivamente. As doses absorvidas estimadas são consideradas baixas quando comparadas a limiares de dose que possam causar efeitos determinísticos para os órgãos em estudo. Outros órgãos que apresentam alta captação do radiofármaco são o fígado e os pulmões, pois eles possuem alta vascularização.

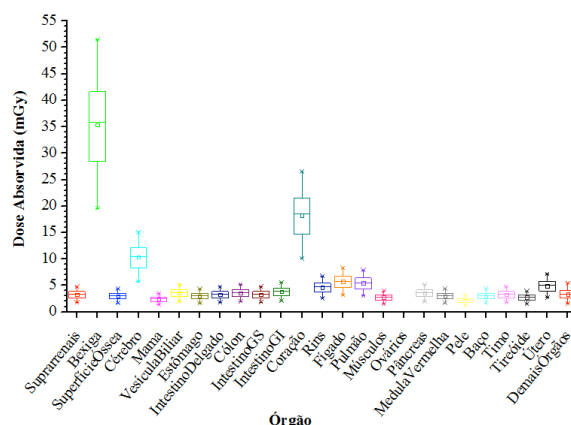


Figura 1. Dose absorvida nos pacientes do sexo feminino proveniente da incorporação do radiofármaco $^{18}\text{F-FDG}$.

A dose absorvida foi maior em órgãos como coração e cérebro, por terem alta metabolização de glicose, conforme esperado para ambos os sexos. A bexiga também apresenta valores mais elevados de dose absorvida, já que é a principal forma de excreção do radiofármaco $^{18}\text{F-FDG}$ através do trato urinário.

A dose efetiva máxima nas mulheres foi de 7 mSv, porém, a média das doses efetivas nas pacientes é de aproximadamente 4,8 mSv, sendo o 3º quartil de 5,7 mSv.

Huang *et al.* (2009) utilizaram a mesma metodologia para determinar a dose efetiva proveniente da radioatividade do $^{18}\text{F-FDG}$, porém com atividade fixa de 370 MBq para todos os pacientes submetidos ao exame de PET-CT e utilizando os fatores de peso dos tecidos ou órgãos publicados pela ICRP 80, obtendo dose efetiva de 6,2 mSv resultantes da incorporação do $^{18}\text{F-FDG}$, valor 20,6 % superior aos obtidos nesse estudo.

Brix *et al.* (2005) utilizaram a mesma metodologia de Huang *et al.* e estimaram as doses efetivas de exames realizados com dois protocolos diferentes, porém ambos com atividade injetada fixa nos pacientes. O protocolo A foi realizado utilizando-se em média 300 MBq por paciente e o protocolo B 370 MBq. As doses

efetivas estimadas foram de 5,7 e 7,0 mSv, respectivamente, apresentando concordância com os estudos apresentados.

O cálculo individualizado para cada paciente da atividade de ^{18}F -FDG incorporado, variável com a massa, favorece a otimização da dose, conduta internacionalmente recomendada e exigida pelos órgãos reguladores nacionais, obtida através da aplicação dos princípios básicos de radioproteção.

3.2. Resultados das doses absorvida e efetiva provenientes da tomografia computadorizada (CT)

Os resultados da dose absorvida nos órgãos avaliados no simulador Alderson Rando[®] feminino utilizando protocolo oncológico de corpo inteiro com modulação da corrente elétrica, índice de ruído de 25 e com varredura de 98,0 cm são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Dose absorvida em órgãos e dose efetiva avaliadas no simulador Alderson Rando[®] feminino utilizando protocolo oncológico de corpo inteiro com modulação da corrente elétrica e índice de ruído de 25.

ÓRGÃO	DOSE ABSORVIDA (mGy)	DESVIO PADRÃO (mGy)	$D_T \cdot w_R \cdot w_T$ (mSv)
Cristalino	1,585	0,047	*
Mama	3,154	0,174	0,378
Cérebro	1,306	0,053	0,013
Coração	3,256	3,256	0,028
Bexiga	4,282	0,332	0,171
Pulmão	3,274	0,091	0,393
Intestino Delgado	5,149	0,166	0,044
Rim	3,912	0,045	0,034
Fígado	3,119	0,136	0,125
Vesícula	3,000	0,054	0,026
Pâncreas	2,758	0,073	0,024
Baço	2,555	0,138	0,022
Medula	3,043	0,082	0,365
Ovário	4,330	0,291	0,346
Estômago	3,021	0,182	0,362
Tireoide	4,373	0,051	0,175
DOSE EFETIVA (mSv)			2,506

* Este órgão ou tecido não foi considerado no cálculo da dose efetiva.

A dose efetiva com modulação de corrente foi de $(2,51 \pm 0,65)$ mSv. As incertezas expandidas de medição foram calculadas levando-se em consideração as incertezas padrão de medição multiplicadas pelo fator de abrangência ($k = 2$), para uma distribuição *t-student* com grau de liberdade efetivo tendendo ao infinito, correspondendo a uma probabilidade de abrangência de 95,45 % (ISO, 2008).

As fontes de incerteza que mais contribuíram para a incerteza expandida em todos os cálculos de dose efetiva foram a reprodutibilidade e a calibração do lote de dosímetros termoluminescentes.

A dose absorvida é maior no intestino delgado e tireoide, porém há uma pequena redução no nível

de radiação na bexiga e desta forma o terceiro órgão mais irradiado é o ovário. Todos os órgãos citados localizam-se diretamente no campo de irradiação. Porém, ao se considerar a radiosensibilidade dos órgãos que mais contribuem para a dose efetiva são ovário, estômago e bexiga, respectivamente.

3.3. Dose efetiva proveniente do exame de PET-CT para diagnóstico e estadiamento oncológico

Somando-se as doses efetivas provenientes da incorporação do ^{18}F -FDG e da utilização da CT para mapeamento anatômico, a média da dose efetiva do exames de PET-CT para diagnóstico e estadiamento oncológico nos pacientes do sexo feminino foi de $(7,3 \pm 1,9)$ mSv.

Huang *et al.* (2009) determinaram a dose efetiva usando três protocolos diferentes de CT em um equipamento de 64 canais e atividade de ^{18}F -FDG injetada nos pacientes constante. As doses efetivas estimadas foram 13,45, 24,79 e 31,91 mSv para os pacientes do sexo.

A dose efetiva resultante do exame de ^{18}F -FDG PET-CT de corpo inteiro para diagnóstico oncológico e estadiamento no CIMol apresentou valores aproximadamente 3 vezes menores do que nas demais avaliações. Essas diferenças são resultado principalmente da dose efetiva proveniente da CT. Nos trabalhos citados, a maioria dos protocolos utilizam CT com qualidade diagnóstica, enquanto no CIMol a CT é utilizada para localização anatômica das estruturas corporais.

4. CONCLUSÕES

O modelo da ICRP 106 utilizado para estimar as doses provenientes do PET apresentou valores compatíveis com a literatura, comprovando sua adoção adequada.

Utilizando o protocolo de aquisição de imagens de PET-CT para diagnóstico e estadiamento oncológico, com o protocolo de CT para

mapeamento anatômico, a maior contribuição para a dose efetiva é proveniente da incorporação do radiofármaco, aproximadamente 60% da dose efetiva total do exame de corpo inteiro.

5. REFERÊNCIAS

BRIX,G.; LECHER, U.; GLATTING, G.; ZIEGLER, S.I.; MUNZING, W.; MULLER, S.P.; BEYER, T. Radiation exposure of patients undergoing whole-body dual-modality ^{18}F -FDG PET-CT examinations. The journal of nuclear medicine, v. 46, n. 4, p. 608- 613. 2005.

HUANG, B.; LAW, M.M.W.; KHONG, P. Whole-body PET-CT scanning: Estimation of radiation dose and cancer risk. Radiology, v. 251, n. 1, p.166-174. 2009.

ICRP- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 106, 2008.

ICRP- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Basis for dosimetric quantities used in radiological protection. Pergamon Press, Oxford, UK: Draft of 12 February 2006.

ICRP- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. The 2007. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. Addendum 3 - ICRP Publication 53, 2007.

ICRP- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, 2007.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). Guide to the

expression of uncertainty in measurement – ISO GUM. Genebra, 2008.

OLIVEIRA, P.M.C.; Avaliação de parâmetros da qualidade de imagem e dosimetria de pacientes submetidos a exames radiológicos de tórax, 2012,

196f. Tese (Doutorado em Ciências e técnicas nucleares)- Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.