

Estimativa de dose absorvida e efetiva em exames de ^{18}F -FDG em PET-CT para diagnóstico de câncer de pulmão.

Guilherme N. P. Carvalho¹, Paulo M. C. Oliveira^{1,2}, Lucas P. Reis^{1,2}, Priscila C. Santana¹

¹ Departamento de Anatomia e Imagem, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

² Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear/CNEN, Belo Horizonte, Brasil

Resumo

Este trabalho apresenta uma avaliação das doses absorvidas em diversos tecidos e órgãos, assim como a dose efetiva resultante dos exames de PET-CT realizadas com o radiofármaco ^{18}F -FDG para diagnóstico de câncer de pulmão em varreduras de corpo inteiro. Adotou-se o modelo biocinético conforme a ICRP-106 para estimar as doses absorvidas e efetivas provenientes do radiofármaco para um paciente do sexo masculino e feminino de acordo com as características dos simuladores antropomórficos Alderson Rando®, ambos os sexos. As doses provenientes da CT foram avaliadas com o uso de detectores termoluminescentes inseridos nos mesmos simuladores antropomórficos. Os protocolos de otimização para a aquisição de imagens e o uso do controle automático de exposição foram utilizados com intuito de reduzir as doses no paciente, levando-se em consideração o modelo do equipamento e seu sistema. A dose efetiva nos pacientes do sexo feminino foi de 5,8 mSv e do sexo masculino foi de 8,4 mSv. Os valores de dose estimados para o ^{18}F -FDG PET-CT estão abaixo dos descritos pela literatura. Isso se deve ao fato do modo de uso da CT, não ser diagnóstica, mas para mapeamento morfológico.

Palavras-chave: dose absorvida, dose efetiva, PET-CT, FDG.

Abstract

This paper presents an evaluation of tissues and organs absorbed doses as well as the effective dose resulting from PET-CT scans performed with ^{18}F -FDG radiopharmaceutical for lung cancer diagnosis in whole body scans. The ICRP-106 biokinetic model was used to estimate the absorbed and effective doses from the radiopharmaceutical for both male and female patient according to the characteristics of anthropomorphic Alderson Rando® simulators. Computer Tomography doses were evaluated using thermoluminescent detectors inserted in the same anthropomorphic simulators. Optimization protocols for image acquisition and the use of automatic exposure control were used in order to reduce patient doses, taking into account the equipment model and its system. The effective dose in female patients was 5.8 mSv. The effective dose in male patients was 8.4 mSv. The dose values estimated for the ^{18}F -FDG PET-CT scan are below the values described in the literature. This is because the CT was not used for diagnostic but for morphological mapping.

Keywords: absorbed dose, effective dose, PET-CT, FDG.

1. Introdução

O uso da radiação ionizante na área da saúde é a principal fonte de exposição humana aos métodos artificiais de radiação. A técnica de aquisição de imagens através da tomografia por emissão de pósitrons acoplado à tomografia computadorizada (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.

Os estudos de imagem molecular com o radiofármaco fluorodeoxiglicose (^{18}F -FDG) no PET-CT vêm sendo extensamente utilizados como uma ferramenta importante no manejo de pacientes oncológicos. As informações adquiridas com os exames de ^{18}F -FDG PET-CT apresentam impacto na determinação da estratégia terapêutica e no acompanhamento de tratamentos que podem ser muito onerosos para os sistemas de saúde, sejam públicos ou privados. Apesar de sua importante aplicação clínica, a utilização dessa tecnologia em pacientes oncológicos está agregada a maiores doses de radiação no paciente devido à associação do estudo tomográfico pela CT de corpo inteiro e à administração de radiofármacos marcados com isótopos radioativos emissores de pósitrons. Assim, é importante o conhecimento das

doses e o risco associado quando pacientes são submetidos a este exame diagnóstico.

O objetivo do presente trabalho consiste na avaliação das doses absorvidas (D_T) em diversos tecidos e órgãos, assim como, a dose efetiva (E) resultante dos exames de PET-CT realizadas com o radiofármaco, ^{18}F -FDG, para diagnóstico de câncer de pulmão em varreduras de corpo inteiro.

2. Materiais e Métodos

Para a realização deste trabalho foi utilizado o equipamento de PET-CT do Centro de Tecnologia em Medicina Molecular (CTMM) da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). O modelo de equipamento utilizado foi o *Discovery 690 (D-690)* da fabricante *General Electric (GE)*, composto de detectores de ortossilicato de ítrio e lutécio (LYSO) e um tomógrafo, *LightSpeed VCT*, de 64 canais. A reconstrução das imagens pelo equipamento é feita com base no algoritmo 3D-OSEM.

Para estimar as doses provenientes da incorporação do radiofármaco, utilizou-se o modelo biocinético proposto pela ICRP-106. Este modelo utiliza os coeficientes (Γ), que permitem calcular o valor da dose absorvida nos órgãos (D_T) a partir da atividade radioativa (A) injetada. A dose efetiva nos pacientes (E) foi estimada considerando o fator de ponderação para cada tecido ou órgão (w_T), o fator de ponderação para o tipo da radiação (w_R) e o radionuclídeo injetado, F^{18} , de acordo com as equações 1 e 2.

$$D_T = \Gamma \times A \quad (1)$$

Sua unidade no SI é J.kg^{-1} , que recebe o nome de Gray (Gy);

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

Sua unidade no SI é J.kg^{-1} , que recebe o nome de Sievert (Sv).

O modelo biocinético foi adotado para estimar as doses absorvidas (D_T) e efetivas (E) resultantes da incorporação do radiofármaco de supostos pacientes dos sexos masculino e feminino que apresentam características semelhantes às dos simuladores antropomórficos Alderson Rando[®]: 1,75 m de altura e 73,5 kg para o masculino e 1,55 m de altura e 50 kg para o feminino. Como padrão de conduta no CTMM, a atividade radioativa injetada no paciente é calculada com base em sua massa corporal. No exame diagnóstico de PET-CT para diagnóstico do câncer de pulmão, para cada quilograma de massa corporal são injetados 0,1 mCi (3,7 Mbq) de atividade radioativa (A).

As doses absorvida e efetiva recebidas pelos pacientes durante a realização do exame de ^{18}F -FDG PET-CT, provenientes exclusivamente da CT, foram avaliadas por meio da utilização de detectores termoluminescentes de fluoreto de

lítio ativados com magnésio e titânio (LiF: Mg, Ti - TLD-100) no formato cilíndrico, com 1,00 mm de diâmetro e 5,00 mm de comprimento, da empresa *Harshaw Chemical Company*. Os detectores foram inseridos nos simuladores antropomórficos Alderson Rando[®], masculino e feminino, em pontos correspondentes a órgãos mais radiosensíveis e com maior probabilidade de exposição, seja devido à sua inserção no campo de radiação ou à sua proximidade a ele (cristalino, tireoide, mamas, cérebro, hipófise, cérebro, pulmão, coração, bexiga, cólon sigmoide, intestino, rim, fígado, vesícula, pâncreas, baço, medula, estômago e testículos ou ovários).

Após o preparo, os simuladores antropomórficos foram submetidos ao mesmo protocolo de aquisição de imagem aplicado aos pacientes para diagnóstico do câncer de pulmão, com o campo de irradiação desde a base do crânio até a raiz da coxa.

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 de rotação do tubo de 0,7 s e índice de ruído de 25,00. O comprimento de varredura foi de 98,0 cm no simulador feminino e de 98,7 cm para o simulador masculino, terminando na raiz da coxa. Portanto, somente essa região de varredura recebe diretamente o feixe primário de radiação X. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados para a realização do *scout* e dos cortes axiais para aquisição da imagem tomográfica.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para a aquisição de imagens de PET-CT de corpo inteiro com o radiofármaco ^{18}F -FDG.

PARÂMETROS	SCOUT	VARREDURA
Tensão (kV)	120	120
Corrente (mA)	10	10-120 (automática)
Espessura do corte (mm)	--	0,625
Espessura do Feixe (mm)	--	40
Pitch	--	0,984
Velocidade da mesa (mm/rot)	--	39,37
Tempo de rotação do tubo (s)	--	0,7
Distância (cm)	150,0	98,0 / 98,7
Quantidade de varreduras	2	1
Índice de ruído	--	25

Para a realização deste trabalho não se utilizou dados de pacientes, somente simuladores, portanto não foi necessária aprovação no Comitê de Ética da UFMG.

3. Resultados

Os resultados de dose absorvida e efetiva proveniente da incorporação do radiofármaco foram estimados a partir da atividade injetada e somando-se valores conforme a aplicação do modelo biocinético da ICRP – 106. As doses absorvidas estimadas em órgãos radiosensíveis, como testículos e tireóide, para um suposto paciente do sexo masculino com as características de peso e estatura iguais às do simulador antropomórfico, foram de 2,99 mGy e 2,72 mGy, respectivamente. Para um paciente masculino típico, com as características do modelo simulador antropomórfico, a dose efetiva estimada incorporada devido ao radiofármaco, a partir da atividade injetada de 7,35 mCi, foi de 4,73 mSv. A dose absorvida estimada em órgãos radiosensíveis, como ovários, útero, mamas e tireóide, para uma suposta paciente do sexo feminino com as características de peso e estatura iguais ao do simulador antropomórfico, foram de 2,59 mGy, 3,33 mGy, 1,63 mGy e 1,85 mGy, respectivamente. Para uma paciente feminina típica, com as características do modelo simulador antropomórfico, a dose efetiva incorporada devido ao radiofármaco, a partir da atividade injetada de 5,00 mCi, foi de 3,29 mSv.

Para determinar a dose efetiva de um exame de PET-CT é necessário conhecer também as doses absorvidas e efetiva provenientes da irradiação da CT. Os valores obtidos a partir da irradiação proveniente da CT foram adquiridos experimentalmente. A tabela 2 apresenta os valores de dose absorvida e efetiva resultante da irradiação do simulador masculino pela radiação proveniente da CT. A dose efetiva foi igual a $(3,67 \pm 0,95)$ mSv.

A tabela 3 apresenta os valores de dose absorvida e efetiva resultante da irradiação do simulador feminino pela radiação proveniente da CT.

Tabela 2 - Dose absorvida e efetiva avaliadas no simulador Alderson Rando® masculino.

ÓRGÃO	DOSE ABSORVIDA (mGy)	DESVIO PADRÃO (mGy)	$D_T \cdot w_R \cdot w_T$ (mSv)
Cristalino	2,022	0,099	*
Mama	6,009	0,384	0,721
Cérebro	1,239	0,100	0,012
Coração	4,400	0,228	0,038
Bexiga	4,823	0,460	0,193
Pulmão	4,768	0,185	0,572
Colon Sigmoide	3,979	0,256	0,477
Intestino Delgado	5,708	0,224	0,049
Rim	3,283	0,123	0,028
Fígado	4,431	0,071	0,177
Vesícula	4,320	0,081	0,037
Pâncreas	3,643	0,211	0,031
Baço	3,201	0,109	0,027
Medula	3,071	0,114	0,369
Testículo	7,785	0,087	0,623
Supra Renal	3,605	0,240	0,031
Tireoide	7,182	0,362	0,287
DOSE EFETIVA (mSv)			3,673

* Este órgão não foi considerado no cálculo de dose efetiva.

Tabela 3 - Dose absorvida e efetiva avaliadas no simulador Alderson Rando® feminino.

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 não foi considerado no cálculo de dose efetiva.

A dose efetiva foi de $(2,51 \pm 0,65)$ mSv. Ambas 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).

A dose efetiva resultante do exame de PET-CT em pacientes submetidos a protocolos para diagnóstico e estadiamento do câncer de pulmão é dada pela soma algébrica dos valores de dose efetiva encontrados pela incorporação do ^{18}F -FDG e pela irradiação da CT. Com os protocolos atualmente utilizados para a aquisição da imagem de ^{18}F -FDG PET-CT no diagnóstico oncológico para câncer de pulmão de um paciente masculino de 73,5 kg e feminino de 50 kg, a dose efetiva estimada foi de $(8,51 \pm 2,21)$ mSv e $(5,80 \pm 1,57)$ mSv, respectivamente.

4. Discussão

Os valores de dose estimados para o radiofármaco estão abaixo dos valores encontrados na literatura^{3,6-9}. Isso se deve ao fato de que no CTMM a CT não é diagnóstica e sim, somente para mapeamento anatômico, tendo uma contribuição menor do que em outros estudos.

De acordo com os resultados obtidos é possível observar que a redução da dose no paciente em um exame de PET – CT advém da escolha dos melhores fatores técnicos utilizados durante o procedimento da CT. Portanto, são sempre importantes estudos referentes à alteração de parâmetros técnicos visando protocolos com redução de dose, mantendo-se a qualidade da imagem.

5. Conclusão

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, sendo igual a aproximadamente 60% da dose efetiva total do exame de corpo inteiro.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais pela bolsa de Iniciação Científica cedida ao autor na realização deste trabalho.

Referências

1. Gonzaga NB. Estudo de grandezas dosimétricas aplicadas em pacientes submetidos a exames de tórax rotina em tomografia computadorizada [Dissertação de Mestrado]. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia da UFMG; 2012.
2. International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 106, 2007. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. Addendum 3 to ICRP Publication 53. Pergamon Press.
3. Khamwan K, Krisanachinda A, et al. The determination of patient dose from (^{18}F) -FDG PET/CT examination. Radiat Prot Dosimetry. 2010 Sep;141(1):50-5.
4. Santana PC, Mourão AP et al. Dosimetria de pacientes submetidos a exames de PET/CT cerebral para diagnóstico

de comprometimento cognitivo leve. Radiol Bras. 2014 Nov/Dez;47(6):350–354.

5. Santana PC. Doses e risco da radiação em pacientes submetidos a exames de corpo inteiro de ^{18}F -FDG PET-CT para diagnóstico oncológico [Tese de Doutorado]. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia da UFMG; 2014.
6. 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.
7. PINTO, A.M.S.M. Ensino de Física das Radiações através de Experiências Simples. 2006. 160f. Dissertação (Mestrado em Física para o Ensino) – Universidade de Lisboa, 2006.
8. ETARD, C.; CELIER, D.; ROCH, P.; AUBERT, B. National survey of patient doses from whole-body FDG PET-CT examinations in France 2011. Radiation Protection Dosimetry, v. 152, n. 4, p. 334-338. 2012.
9. 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.

Contato:

Guilherme Neto de Pinho Carvalho
Avenida Professor Alfredo Balena, 190, Santa Efigênia- Belo Horizonte, Minas Gerais- Brasil.
CEP: 30.130-100
E-mail: guinpc1@ufmg.br