



Comparação da dose absorvida de dois protocolos de varredura tomográfica em exame de PET/CT

F.G. Paiva^a; P.C. Santana^b; A.P. Mourão Filho^c

^aDepartamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais,

CEP: 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

^bDepartamento de Anatomia e Imagem/ Faculdade de Medicina, Universidade Federal de Minas Gerais,

CEP: 30123-970, Belo Horizonte, MG, Brasil

^cCentro de Engenharia Biomédica, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais,

CEP: 30421-169, Belo Horizonte, MG, Brasil

fgpaiva92@gmail.com

RESUMO

A tomografia por emissão de pósitrons (PET) associada à Tomografia Computadorizada (CT) permite a fusão das imagens funcionais e anatômicas. Quando comparada a outras técnicas diagnósticas, o PET/CT submete os pacientes a níveis de radiação mais elevados, pelo fato de se utilizar duas modalidades em um só exame. Neste trabalho, foram avaliadas as doses absorvidas em 19 órgãos, provenientes da varredura tomográfica. Foram utilizados filmes radiocrômicos devidamente posicionados no interior do simulador antropomórfico Alderson, versão masculina. Para avaliação, foram comparados dois protocolos de CT para varredura de corpo inteiro, um para geração de imagens com menor resolução visando apenas o mapeamento anatômico (1), e um segundo protocolo com maior resolução para fins diagnósticos (2). Observou-se um aumento de até 600 % na dose absorvida na hipófise e medula cervical quando se comparam os protocolos, sendo a média de aumento em torno de 230 % nos outros órgãos. Conclui-se que a dose proveniente da CT nos pacientes submetidos ao exame PET/CT é maior no protocolo usado para diagnóstico. Considerando o alto custo do exame de PET/CT e suas aplicações em diagnóstico de pequenas alterações, em determinados casos torna-se necessário que o exame de CT tenha qualidade diagnóstica, e não sirva somente para o mapeamento anatômico, mesmo esperando-se aumento das doses absorvidas. Nestes casos o argumento para utilizar-se maior dose está baseado no Princípio da Justificação. Vale ressaltar a importância de uma avaliação criteriosa quanto à necessidade da realização do exame no protocolo 2 em todos os pacientes, ou apenas em casos imprescindíveis.

Palavras-Chave: Dosimetria, Tomografia Computadorizada, PET/CT.

ABSTRACT

Positron emission tomography (PET) associated with computed tomography (CT) allows the fusion of functional and anatomical images. When compared with other diagnostic techniques PET/CT subjects the patients to higher radiation dose levels because two radiation modalities in a single exam are used. In this study, the absorbed doses were evaluated in 19 organs from the CT scan. Radiochromic filmstrips were correctly positioned into the Alderson anthropomorphic phantom, masculine version. For this evaluation two Whole-body CT scan protocols were compared, one protocol for generating images with lower resolution aiming only the anatomical mapping (1), and a second protocol with higher resolution images for diagnostic purposes (2). There was an increase of up to 600 % in the absorbed dose in the hypophysis and cervical spine when comparing the protocols, with an average increase of around 230 % in other organs. The CT organ dose in patients submitted to PET/CT scanning is higher in the protocol used for diagnosis. Considering the higher cost of PET/CT examination and its applications in the diagnosis of minor alterations, in some cases it is necessary that CT scan has diagnostic quality, not only for the anatomical mapping, even knowing the dose increase for the patient. In these cases, the argument for using a higher patient doses technique is based on the Principle of Justification. It is worth emphasizing the importance of a careful evaluation of the need to perform the exam using protocol (2) for all patients, but only in essential cases.

Keywords : Dosimetry, Computed Tomography, PET/CT.

1. INTRODUÇÃO

A geração de imagens de Tomografia por Emissão de Pósitrons (Positron Emission Tomography-PET) teve início na década de 1950, quando substâncias radioativas foram utilizadas pela primeira vez como traçadores de alterações metabólicas em estudos do cérebro [1]. Desde então, descobriu-se que os fótons de coincidência de alta energia, produzidos pela aniquilação das partículas (elétron-pósitron), quando identificados por dois detectores opostos podem ser utilizados para descrever a distribuição fisiológica de um elemento radioativo no corpo humano [2, 3].

A fusão das imagens geradas pelo PET com as imagens da Tomografia Computadorizada (Computed Tomography-CT) aconteceu em 1998, gerando o sistema híbrido PET/CT. Esses equipamentos permitem a fusão das imagens funcionais, obtidas a partir da administração de radiofármacos e anatômicas, geradas pela atenuação do feixe de raios X [4-7]. As imagens híbridas permitem que variações anatômicas e funcionais sejam observadas simultaneamente, permitindo

diagnósticos mais precisos, principalmente para a oncologia [8]. As imagens de PET utilizando a molécula marcada ^{18}F -FDG para diagnóstico, estadiamento e reestadiamento de tumores apresentam acurácia entre 80 e 90%. A resposta à terapia pode ser avaliada mais rapidamente e com maior precisão quando comparada às outras técnicas diagnósticas [1].

Um aumento significativo na demanda por exames de PET/CT gerou preocupações relacionadas à exposição do paciente à radiação, além disso submete os pacientes a níveis de radiação mais elevados que as demais modalidades de diagnóstico por imagem, pelo fato de se utilizar duas técnicas, o PET e o CT, em um só exame [9,10]. A dose de radiação recebida pelo paciente submetido ao PET/CT depende de vários fatores, tais como o protocolo utilizado, peso, tamanho e fisiologia do paciente, quantidade de atividade do radiofármaco injetada, bem como a marca e modelo do equipamento [11].

Este trabalho teve como objetivo a avaliação das doses absorvidas provenientes da CT em diversos órgãos, comparando dois protocolos PET/CT diferentes. O primeiro protocolo tem função apenas de mapeamento anatômico e o segundo tem finalidade diagnóstica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no PET/CT do Centro de Tecnologia em Medicina Molecular (CTMM) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Sendo parte do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Medicina Molecular (INCT-MM) e prestando serviços de Medicina Nuclear, este centro de imagem está equipado com um aparelho de PET/CT Discovery 690 (D-690) da fabricante General Electric (GE). O equipamento de PET/CT D-690 possui um tomógrafo PET com 13.824 detectores de ortosilicato de ítrio e lutécio (LYSO) com dimensões de 4,2 x 6,3 x 25 mm³ acoplado a um equipamento CT de 64 canais.

O simulador antropomórfico Alderson Rando® [12] versão masculina foi utilizado neste trabalho. Este objeto simulador consiste de um esqueleto humano envolvido em material polimérico com características e tecido equivalentes. Apresentam o tronco e a cabeça fatiados com espessuras de 2,5 cm, totalizando 33 fatias. Nestas fatias encontram-se uniformemente dispostos cilindros de 7 mm de diâmetro para o posicionamento de detectores de radiação, em um total de 5.794 possíveis

pontos de avaliação de dose interna [13]. Para avaliação das doses absorvidas provenientes da varredura de corpo inteiro da CT, foram utilizados filmes radiocrômicos Gafchromic XR-QA2 [14, 15] posicionados no interior do simulador antropomórfico, mostrado na Figura 1. Este tipo de filme não é sensível à luz visível, tornando a manipulação e a análise mais simples e acessíveis, tendo sido amplamente utilizados na medição de dose de radiação em pacientes. A confiabilidade metrológica dos filmes radiocrômicos foi demonstrada através de testes de homogeneidade e repetibilidade na radiação de referência para CT (RQT9), reproduzida no Laboratório de Calibração do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN) [16].

Os filmes foram colocados nos seguintes órgãos: cérebro, hipófise, cristalino, tireoide, medula cervical, mamas, pulmões, coração, estômago, fígado, pâncreas, baço, vesícula, rins, cólon, sigmoide, intestino delgado, bexiga e testículos. Um total de 32 tiras de filme radiocrômico foram utilizadas em cada protocolo, sendo que nos órgãos maiores tais como cérebro, pulmão, fígado, cólon e sigmoide foram colocados mais de um filme para posterior obtenção de um valor médio de dose absorvida. Para cristalino, pulmão, mama e rins foi realizada a média entre os valores obtidos para o lado direito e esquerdo.

Figura 1: *Simulador Alderson Rando masculino posicionado no PET/CT D-690*



Duas irradiações de corpo inteiro foram realizadas, utilizando dois protocolos tomográficos diferentes, para fins de comparação. Os parâmetros utilizados nos protocolos 1 e 2 são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros selecionados nos dois protocolos de TC utilizados

Parâmetro	Protocolo 1	Protocolo 2
Reconstrução (mm)	3,75	3,75
<i>Pitch</i>	0,984	0,984
Tempo do tubo (s)	0,7	0,7
Tensão (kV)	120	120
Corrente (mA)	Auto	Auto
<i>Smart mA</i>	Ativado	Ativado com cAe*
Variação da corrente (mA)	10-120	50-400
Índice de ruído	25	16,05

*Controle Automático de Exposição (cAe)

Após a varredura tomográfica, os filmes foram digitalizados e analisados utilizando o *software* de processamento de imagens *ImageJ*® [17]. Filmes radiocrômicos fornecem uma quantidade muito grande de dados, além da incerteza associada a cada valor [14, 15]. Um filme não irradiado é utilizado como referência para radiação de fundo (*Background – BG*), seu valor é calculado e subtraído no cálculo da Dose Absorvida (D_T) em cada órgão. A D_T é calculada de acordo com a equação 1 [16]:

$$D_T(mGy) = \left(5,30587 \left(\frac{\text{Valor Medido}}{50,69695} \right) \right) - 11,38213 - D_T(BG) \quad (1)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 2. As Doses Absorvidas (mGy) tiveram um aumento médio de aproximadamente 230 % para todos os órgãos, quando se comparam os dois protocolos. Observa-se um aumento superior a 600 % na dose absorvida na hipófise e na medula cervical. O aumento da dose absorvida deve-se ao maior valor da corrente (mA) e a variação no índice de ruído da imagem.

Tabela 2: Doses absorvidas (D_T) nas varreduras tomográficas de corpo inteiro utilizando dois protocolos diferentes

Órgão	Protocolo 1		Protocolo 2		Variação
	D_T (mGy)	SD	D_T (mGy)	SD	%
Cérebro	0,75	± 0,17	2,59	± 0,27	246,42
Cristalino	1,55	± 0,18	4,71	± 0,33	203,41
Hipófise	0,25	± 0,12	1,77	± 0,27	618,56
Medula Cervical	0,73	± 0,23	5,39	± 0,19	633,74
Tireoide	5,76	± 0,36	22,21	± 0,50	285,72
Pulmão	3,33	± 0,22	10,61	± 0,46	218,64
Coração	2,97	± 0,24	10,33	± 0,41	247,53
Mamas	3,65	± 0,26	11,50	± 0,50	214,86
Fígado	2,57	± 0,16	8,40	± 0,50	226,89
Baço	2,95	± 0,17	9,29	± 0,57	214,68
Vesícula	3,10	± 0,27	10,47	± 0,35	237,24
Estômago	2,95	± 0,27	10,01	± 0,55	239,86
Pâncreas	2,26	± 0,37	7,85	± 0,72	246,73
Intestino Delgado	2,71	± 0,14	8,34	± 0,50	207,92
Cólon	2,84	± 0,20	8,98	± 0,39	216,08
Rins	1,94	± 0,21	7,77	± 0,46	300,80
Sigmoide	3,38	± 0,15	10,53	± 0,38	211,91
Bexiga	4,88	± 0,23	16,49	± 0,39	237,87
Testículos	4,52	± 0,45	18,97	± 0,59	319,26

Ao serem comparados os resultados com a literatura [18, 19], observa-se que os valores de dose absorvida variam de acordo com diferenças nos parâmetros utilizados em cada protocolo. Não há

um protocolo fixo, a escolha desses parâmetros é realizada localmente e é usual que sigam as recomendações do fabricante.

4. CONCLUSÕES

A dose proveniente da CT nos pacientes submetidos ao exame PET/CT é maior no protocolo 2, usado para fins diagnósticos, que apresenta um menor ruído na imagem e possibilita melhor qualidade diagnóstica. Considerando o alto custo do exame PET/CT e suas aplicações em diagnóstico de pequenas lesões, em determinados casos torna-se necessário que o exame de CT tenha qualidade diagnóstica, e não sirva somente para o mapeamento anatômico, mesmo conhecendo-se o aumento da dose em paciente. Nestes casos o argumento para utilizar-se maior dose para o paciente está baseado no Princípio da Justificação.

O uso de um protocolo que apresente imagem com menor índice de ruído, neste caso o protocolo 2, acabou se tornando uma demanda clínica, ou seja, a maior parte dos profissionais da área preferem este tipo de imagem. É importante ressaltar a necessidade de uma avaliação mais criteriosa quanto à necessidade que o exame seja realizado com alta qualidade de imagem, ou seja, com função diagnóstica e, conseqüentemente, maior dose para todos os pacientes [20], e não apenas em casos em que este protocolo seja imprescindível.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, FAPEMIG e ao CNPq pelo apoio financeiro, ao CDTN pelo empréstimo do simulador Alderson Rando, e ao CTMM pelo uso das instalações.

REFERENCIAS

- [1] CZERNIN, J.; SCHELBERT, H. PET/CT imaging: facts, opinions, hopes, and questions. **Journal of Nuclear Medicine**, v. 45, n. 1 suppl, p. 1S-3S, 2004.
- [2] BROWNELL, L. G. A History of Positron Imaging. Physics Research Laboratory Massachusetts General, Hospital Division of Radiological Sciences, Massachusetts Institute of Technology. 1999.
- [3] CABREJAS, M. L. **Tomografia em Medicina Nuclear**. Editora Argentina, Argentina, 1999.
- [4] BEYER T., TOWNSEND D.W., BRUN T., KINAHAN P.E., CHARRON M., RODDY R., *et al.* A combined PET/CT scanner for clinical oncology. **J Nucl Med**. 2000; 41(8):1369–79.
- [5] BRIX, G.; BEYER, T. PET/CT. **Nuklearmedizin**, v. 44, p. S51-7, 2005.
- [6] QUINN, Brian et al. Radiation dosimetry of 18F-FDG PET/CT: incorporating exam-specific parameters in dose estimates. **BMC medical imaging**, v. 16, n. 1, p. 41, 2016.
- [7] MOORE, S.C.; PARK, M.. PET and PET/CT physics, instrumentation, and artifacts. 2012.
- [8] CZERNIN, J.; ALLEN-AUERBACH, M.; SCHELBERT, H. R. Improvements in cancer staging with PET/CT: literature-based evidence as of September 2006. **Journal of Nuclear Medicine**, v. 48, n. 1 suppl, p. 78S-88S, 2007.
- [9] 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.
- [10] SANTANA, P.C. **Doses e risco da radiação em pacientes submetidos a exames de corpo inteiro de 18F-FDG PET-CT para diagnóstico oncológico**. 2014. 117f. Tese (Doutorado em Ciências e técnicas nucleares). Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
- [11] KAUSHIK, Aruna et al. Estimation of radiation dose to patients from 18FDG whole body PET/CT investigations using dynamic PET scan protocol. **The Indian journal of medical research**, v. 142, n. 6, p. 721, 2015.)
- [12] SOMERWIL, A.; VAN KLEFFENS, H. J. Experience with the Alderson Rando phantom. **The British journal of radiology**, v. 50, n. 592, p. 295-296, 1977

- [13] OLIVEIRA, Cássio Miri et al. Suggestion of a national diagnostic reference level for 18F-FDG/PET scans in adult cancer patients in Brazil. **Radiologia Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 284-289, 2013.
- [14] ISP - International specialty products, 2010. **Gafchromic XR catalogue**. 8p.15.
- [15] GIADDUI, Tawfik et al. Characteristics of Gafchromic XRQA2 films for kV image dose measurement. **Medical physics**, v. 39, n. 2, p. 842-850, 2012.)
- [16] MOURÃO, A. P.; GONÇALVES JR, R. G.; ALONSO, T. C. Dose profile variation with pitch in head CT scans using gafchromic films. **Recent Advances in Biomedical & Chemical Engineering and Materials Science**, v. 1, p. 51-4, 2014.,
- [17] Abramoff M, Magelhaes P, Ram S: Image Processing with ImageJ. **Biophotonics International**. 2004, 11: 36-42.
- [18] ABRAMOFF, M. D.; MAGALHAES, P. J.; RAM, S. J. Image processing with ImageJ. **Biophotonics Int**. 11: 36–42. Google Scholar, 2004.
- [19] BERA, G. et al. Equivalent dose rate from patients after whole-body FDG-PET/CT. **Médecine Nucléaire**, 2017.
- [20] TSUKAMOTO, Eriko; OCHI, Shinji. PET/CT today: system and its impact on cancer diagnosis. **Annals of nuclear medicine**, v. 20, n. 4, p. 255, 2006.