

Metodologia para calibração do detector de NaI(Tl) 3"x3" para medições *in vivo* em pacientes submetidos a radioiodoterapia e indivíduos ocupacionalmente expostos ao ¹³¹I

Method for calibration of the NaI(Tl) 3"x3" detector for *in vivo* measurements in patients undergoing radioiodine therapy and occupationally exposed individuals to ¹³¹I

A. C. S. Xavier¹; I. V. B. Lacerda^{1,2}; M. L. Oliveira¹; F. F. Lima¹;
F. R. A. Lima¹

¹Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, 50740-540, Recife-Pe, Brasil

²Programa de Pós Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Universidade Federal de Pernambuco, 50670-901, Recife-Pe, Brasil

line_c7@hotmail.com

De acordo com estudos realizados pelo Instituto Nacional do Câncer (INCA), nos últimos anos a incidência do câncer de tireoide é a que mais cresce em relação a outros tipos. Para o seu tratamento são necessárias doses exatas do radioisótopo ¹³¹I para cada paciente, sendo este radionuclídeo manipulado em serviços de medicina nuclear por indivíduos que são considerados ocupacionalmente expostos (IOE). Este trabalho tem como objetivo estabelecer a metodologia de calibração do sistema de detecção a ser utilizado na determinação da atividade terapêutica do ¹³¹I, necessária para liberar a dose absorvida desejada na tireoide, bem como na monitoração desse radionuclídeo nos IOE dos serviços de medicina nuclear. Essa é uma das etapas iniciais da implementação do Laboratório de Dosimetria Interna no Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE). O sistema consiste em um detector de NaI(Tl) 3"x 3" acoplado ao software Genie 2000 e foram utilizadas as fontes de calibração de ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs e ¹³³Ba. Primeiramente, foram realizadas medições em indivíduos não expostos para a obtenção da Atividade Mínima Detectável (AMD) e, em seguida, foram determinadas a Incorporação Mínima Detectável (IMD) e a Dose Efetiva Mínima Detectável (DEMD) através dos modelos biocinéticos disponibilizados pela ICRP 67 e editados pelo software AIDE versão 6 tanto para trabalhadores quanto para pacientes. Os valores para as DEMD foram $3,57 \times 10^{-2}$ mSv, $5,56 \times 10^{-2}$ mSv e $10,7 \times 10^{-2}$ mSv para 1, 7 e 14 dias após a incorporação, respectivamente, para trabalhadores após incorporação por ingestão do ¹³¹I. Quanto para pacientes, as DEMD foram $3,44 \times 10^{-2}$ mSv, $5,63 \times 10^{-2}$ mSv e $10,9 \times 10^{-2}$ mSv para os mesmos períodos de tempo. A técnica é aplicável para a avaliação de dose em IOE, uma vez que se apresenta inferior ao limite mínimo recomendado de 1 mSv. A técnica também possui sensibilidade adequada para avaliação de atividade presente na tireoide de pacientes com disfunções tireoideanas.

Palavras-chave: dosimetria interna; iodoterapia e tireoide

According to studies by the Instituto Nacional do Câncer (INCA), in recent years the incidence of thyroid cancer is the fastest growing in relation to other types. For the treatment is required the exact amount of ¹³¹I isotope for each patient resulting on manipulation of this isotope in nuclear medicine services by individuals who are considered occupationally exposed (OEI). This work aims to establish the methodology for calibration of the detection system used to determine the therapeutic activity of ¹³¹I, required to release the desired absorbed dose in the thyroid gland, as well as in monitoring OEI that manipulate this radionuclide in nuclear medicine services. This is one of the early stages of implementation of Laboratório de Dosimetria Interna at the Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE). The detector system consists of a NaI(Tl) 3"x 3" associated with electronic devices and Genie 2000 software. Sources of ⁶⁰Co, ¹³⁷Cs and ¹³³Ba were utilized for calibration. Firstly, measurements were carried out in non-exposed individuals for obtaining the Minimum Detectable Activity (MDA) and then Minimum Detectable Incorporation (MDI) and the Minimum Effective Dose Detectable (MEDD) were determined through biokinetic models provided by the ICRP 67 and edited by the AIDE software version 6 to workers and patients. The values for the MEDD were 3.57×10^{-2} mSv, 5.56×10^{-2} mSv and 10.7×10^{-2} mSv to 1, 7 and 14 days, respectively, after ¹³¹I incorporation by workers. As for patients, MEDD were 3.44×10^{-2} mSv, 5.63×10^{-2} mSv and 10.9×10^{-2} mSv for the same periods of time. It is applicable to the assessment of dose OEI, since it presents less than the recommended

minimum of 1 mSv. The technique also has adequate sensitivity for evaluation of activity present in the thyroid of patients with thyroid dysfunction.

Keywords: internal dosimetry; radioiodine therapy, thyroid.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os vários radionuclídeos utilizados ‘*in vivo*’ destaca-se o ^{131}I que é largamente empregado no diagnóstico e na terapia de disfunções da tireoide, pois o iodeto faz parte do metabolismo desta glândula e, dependendo da atividade administrada, pode levar à morte das células tireodeanas. Assim, a radioiodoterapia é um método atraumático, não-invasivo, utilizado no tratamento de hipertireoidismo, de câncer de tireoide e nas metástases iodoconcentrantes.

No caso do hipertireoidismo, atividades ótimas de I-131 podem ser determinadas com dosimetria, baseando-se em alguns dados, tais como: a dose de radiação absorvida na tireoide; a massa da glândula tireoide; tempo de meia-vida efetiva; e distribuição do ^{131}I dentro da glândula [1].

A segurança e a eficácia das doses individualizadas realizadas com aproximações dosimétricas para terapia com o ^{131}I na doença de Graves, comparado com o tratamento com a administração de doses fixas ainda gera muitas discussões. Parece razoável que a eficácia de cada terapia depende do fornecimento adequado de dose de radiação à tireoide. As abordagens tradicionais para o cálculo da dose terapêutica na tireoide, utilizando o ^{131}I para o tratamento da Doença de Graves incluem o método de Marinelli-Quimby e o algoritmo MIRD [2].

Com relação ao câncer de tireoide, estudos realizados pelo Instituto Nacional do Câncer (INCA) comprovam que a incidência desse câncer é a que mais cresce em relação a outros tipos nos últimos anos [3]. O tratamento para este tipo de câncer requer doses exatas de ^{131}I , entretanto, na realidade, são administradas atividades fixas aos pacientes, ocasionando, geralmente, uma sobredose ou uma dose insuficiente [4].

Em ambos os casos, para a estimativa da atividade terapêutica necessária do radioisótopo ^{131}I , liberando a dose absorvida desejada na região alvo, é preciso realizar estudos biocinéticos dos pacientes.

Essas práticas desenvolvidas na área de medicina nuclear são desempenhadas por um grande número de indivíduos ocupacionalmente expostos (IOE). Segundo os registros disponíveis na CNEN, a maioria dos trabalhadores envolvidos na produção e utilização de radionuclídeos na saúde é monitorada rotineiramente para avaliação de sua exposição externa à radiação. Entretanto, com relação à avaliação da exposição decorrente do contato direto com fontes líquidas não seladas, com riscos de inalação, ingestão ou de absorção pela pele, pouco tem sido realizado de forma sistemática, embora tal avaliação seja uma das recomendações das entidades internacionais de atuam na área de proteção radiológica (ICRP - Comissão Internacional de Proteção Radiológica e IAEA - Agência Internacional de Energia Atômica) [5, 6].

De acordo com o BSS-115 [5], é responsabilidade do Titular da Instalação identificar os trabalhadores com risco de exposição externa e contaminação interna e prover os meios necessários para que os mesmos sejam submetidos à monitoração apropriada, de forma a demonstrar a eficácia das medidas de radioproteção implementadas e a manter as doses tão baixas quanto razoavelmente exequíveis.

Esta recomendação tem amplo respaldo da comunidade científica, especialmente dos profissionais que atuam em proteção radiológica, tendo sido publicados diversos artigos sobre a exposição ocupacional na área médica [7, 8, 9, 10].

No Brasil, o Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN), localizado no Rio de Janeiro, tem realizado monitorações individuais internas em trabalhadores por meio de técnicas ‘*in vivo*’ e ‘*in vitro*’. O número de trabalhadores que realizam esse tipo de monitoração, entretanto, não é significativo se comparado ao número de IOE nessa área. Inclusive, esse tipo de monitoração é impraticável por apenas uma instituição, tendo em vista as dimensões continentais do país, sendo necessários outros centros de monitoração interna em outras regiões do Brasil.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo estabelecer a metodologia de calibração do sistema de detecção a ser utilizado na determinação da atividade terapêutica do ^{131}I , necessária para liberar a dose absorvida desejada na tireoide, bem como na monitoração de IOE que manipulam esse radionuclídeo em serviços de medicina nuclear. Essa é uma das etapas iniciais da implementação do Laboratório de Dosimetria Interna no Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE), localizado em Recife, Pernambuco.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A calibração do detector de NaI(Tl) 3"x3 foi realizada no Laboratório de Dosimetria Interna que está sendo montado na Divisão de Laboratórios Técnicos-científicos (DILAB) do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE).

O detector de NaI(Tl) foi conectado a um módulo compacto (Unispec) e controlado pelo sistema de aquisição de dados (Software Genie 2000). Na realização da calibração, foram utilizadas as fontes de calibração de Cobalto-60, Bário-133 e Césio-137 (^{60}Co , ^{133}Ba e ^{137}Cs).

Primeiramente, procurou-se obter a reta de calibração do sistema de detecção, tendo sido obtidos espectros para ^{60}Co e ^{137}Cs . As fontes foram posicionadas a 5 e 15 cm do detector, respectivamente, e os canais correspondentes às energias foram determinados (tabela 1).

Tabela 1: Parâmetros de energia e canal para a calibração do detector de NaI(Tl) 3"x3".

Energia	Canal
663	347
1173,3	600
1333	681

Posteriormente, o detector foi calibrado utilizando-se um simulador de pescoço-tireoide desenhado e produzido pelo IRD/CNEN [11]. Ele contém a atividade conhecida de solução padrão de ^{133}Ba (simulador do ^{131}I) de 20.320Bq (0,55 μCi), que foi uniformemente distribuída na superfície de um papel filtro previamente cortado nas dimensões e formato da tireoide (Figura 1).

A fonte de ^{133}Ba foi utilizada por ser uma emissora de fótons de 356 keV, próxima a energia do ^{131}I (364 keV) e possuir maior tempo de meia-vida em relação a uma fonte de ^{131}I . A atividade equivalente de ^{133}Ba foi convertida para atividade equivalente de ^{131}I por meio das intensidades de emissão gama de ambos os radionuclídeos, de acordo com a equação 1.

$$A_{^{131}\text{I}} = A_{^{133}\text{Ba}} \times \left(\frac{\sum \gamma^{^{133}\text{Ba}}}{\sum \gamma^{^{131}\text{I}}} \right) \quad (1),$$

onde A é a atividade e Σ é o somatório das intensidades de emissão gama dos respectivos radionuclídeos.

A calibração consistiu na determinação da razão entre a taxa de contagem registrada na janela do ^{131}I e a atividade do simulador. Para tal, o simulador de pescoço-tireoide foi posicionado a 20 cm do detector instalado com um colimador de chumbo, como apresentado na figura 1. Foram realizadas cinco medições sucessivas de cinco minutos cada com o simulador e com a sala vazia para obtenção da radiação de fundo.

O fator de calibração foi obtido por meio da equação 2 e é expresso em cpm Bq $^{-1}$.

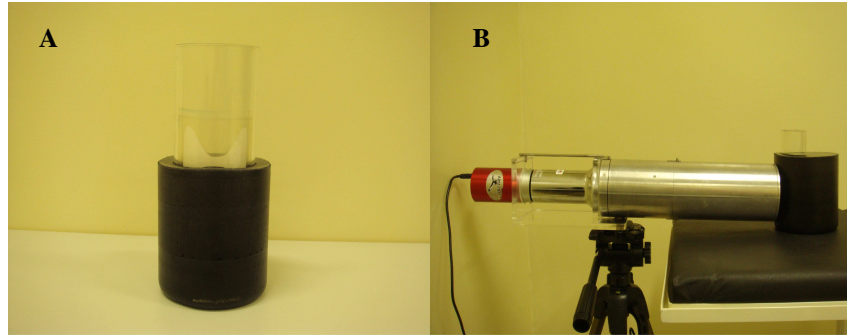


Figura 1: A) Fantoma de pescoço-tireoide produzido pelo IRD/CNEN e B) Calibração do detector de NaI(Tl) 3"x3" utilizando o fantoma de pescoço-tireoide.

$$F_c = \frac{C - C_{BG}}{A} \quad (2)$$

onde, C é a taxa de contagem do simulador, C_{BG} é a taxa de contagem da radiação de fundo e A é a atividade conhecida do simulador.

A atividade mínima detectável (AMD) para o ^{131}I na tireoide foi obtida por meio de medidas realizadas em um grupo controle na mesma geometria usada para a calibração. O grupo controle foi formado por 3 indivíduos não ocupacionalmente expostos e as medidas foram realizadas por 15 minutos.

A dose efetiva mínima detectável (DEMD), que avalia a sensibilidade de detecção para fins de estimativa de dose efetiva no trabalhador ocupacionalmente exposto, foi obtida através da edição do modelo biocinético disponibilizado pela ICRP 67 [12] e editado pelo software AIDE-versão 6.0 [13], onde são apresentadas as frações de atividades retidas na tireoide em função do tempo t após a incorporação do radionuclídeo $m(t)$ e os coeficientes de dose $e(50)$, dose por unidade de incorporação de um determinado radionuclídeo. Dessa maneira, a AMD, IMD e DEMD podem ser calculadas através das equações 3, 4 e 5, respectivamente.

$$AMD = \frac{3 + 4,65 \cdot \sqrt{B}}{T_c \cdot F_c} \quad (3)$$

Onde:

AMD = Atividade mínima detectável pelo sistema (Bq);

B = Média das contagens totais dos indivíduos não expostos;

F_c = Fator de calibração;

T_c = Tempo de medição de cada indivíduo não exposto (15 minutos).

$$IMD = \frac{AMD}{m(t)} \quad (4)$$

Onde:

IMD = Incorporação mínima detectável (Bq);

AMD = Atividade mínima detectável pelo sistema (Bq);

$m(t)$ = Valor da fração de retenção de atividade em um compartimento ou órgão em um tempo t após a incorporação (Bq/Bq).

$$DEMD = IMD \times e(50) \quad (5)$$

Onde:

DEMD = Dose efetiva mínima detectável (Sv);

IMD = Incorporação mínima detectável (Bq);

$e(50)$ = Coeficiente de conversão de dose para o cenário de incorporação avaliado (Sv/Bq).

Vale ressaltar que para a determinação das DEMD foram utilizadas as frações de retenção e coeficientes de conversão de dose para o cenário de inalação para pacientes e exposição ocupacional do software AIDE.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 2 apresenta os resultados obtidos do procedimento de calibração em termos do Fator de calibração, AMD, IMD e DEMD obtidos para um tempo de contagem de 15 minutos tanto para pacientes quanto para IOE.

Tabela 2: Resultados de fator de calibração e demais parâmetros avaliados no presente estudo

	Fator de calibração (cpm/Bq)	AMD ^a (Bq)	IMD ^b (Bq)	DEMD ^c ($\times 10^{-2}$ mSv)		
				1 dia	7 dias	14 dias
Paciente	0,138 \pm 0,002	394,4		3,44	5,63	10,9
IOE	0,138 \pm 0,002	394,4		3,57	5,56	10,7

^(a) Atividade mínima detectável

^(b) Incorporação mínima detectável

^(c) Dose efetiva mínima detectável

As DEMD da técnica desenvolvida no Laboratório de Dosimetria Interna do CRCN-NE para os tempos de 1 dia, 7 dias e 14 dias após a incorporação estão bem abaixo do limite mínimo recomendado de 1 mSv para uma incorporação única por ingestão de ¹³¹I.

4. CONCLUSÃO

A técnica apresentou-se suficientemente sensível para ser utilizada como monitoração interna de indivíduos ocupacionalmente expostos e detectar atividades bem menores que as administradas em pacientes tratados com a radioiodoterapia.

A partir deste procedimento, medições na geometria de tireoide de pacientes serão realizadas com a finalidade de relacionar a atividade do radioisótopo ¹³¹I retida com a massa de tireoide restante e medições em IOE de serviços de medicina nuclear de Recife, PE que manipulam este radiofármaco para contribuir com a otimização de procedimentos que fazem uso do ¹³¹I.

1. KALINVAK, J. E., MCDOUGALL, R. How should the dose of Iodine-131 be determined in the treatment of graves hyperthyroidism? *JCEM-The Journal of Clinical Endocrinological and Metabolism*, 2002.
2. TRAINO, C., DI MARTINO, F., LAZZERI, M. A dosimetric approach to patient-specific radiiodine treatment of Graves' disease with incorporation of treatment-induced changes in thyroid mass. *Medical Physics*, v. 31, n. 7, 2004.
3. Cresce incidência de câncer no Brasil disponível em: <<http://www.tiernopress.com.br/pauta.asp?idPau=21>> Acesso em: 10 de maio de 2010
4. LIMA, F. F., STABIN, M., KHOURY, H. Optimization of ablative dose for thyroid cancer. *ALASBIMN Journal*, v. 9(36), p. AJ36-2, 2007.

5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Safety Series N° 115. Vienna, 1996.
6. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers. ICRP Publication 78. Oxford, 1997.
7. VIDAL, M. V. S., DANTAS, A. L. A., DANTAS, B. M. A methodology for auto-monitoring of internal contamination by ^{131}I in nuclear medicine workers. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 125, n. 1-4, p. 483-487, 2007.
8. DANTAS, B. M., LUCENA, E. A., DANTAS, A. L. A. Internal exposure in nuclear medicine: application of IAEA criteria to determine the need for internal monitoring. *Braz. Arch. Biol. Tech.* v. 51, p. 103-107, 2008.
9. BAECHLER, S., STITT, N., BOCHUD, F. O. Individual monitoring of internal exposure for nuclear medicine workers in Switzerland. *Radiation Protection Dosimetry*, 2010.
10. BENTO, J., TELES, P., NEVES, M., SANTOS, A. I., CARDOSO, G., BARRETO, A., ALVES, F., GUERREIRO, C., RODRIGUES, A., SANTOS, J. A. M., CAPELO, C., PARAFITA, R., MARTINS, B. Study of nuclear medicine practices in Portugal from a internal dosimetry perspective. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 149, n. 4, p. 438-443, 2012.
11. DANTAS, B. M., DANTAS, A. L. A., SANTOS, D. S., CRUZ-SUAREZ, R. IAEA Regional Intercomparison of in vivo Measurements of ^{131}I in the thyroid: The Latin American and Caribbean Experience. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 144, n. 1-4, p. 291-294, 2011.
12. INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part 2 Ingestion Dose Coefficients. Publication 67. Oxford, 1992.
13. BERTELLI, L., MELO, D. R., LIPSZTEIN, J., CRUZ-SUAREZ, R. AIDE: internal dosimetry software. *Radiation Protection Dosimetry*, v. 130, n. 3, p. 358-367, 2008.