

SIMULAÇÃO DA DETECÇÃO DE INTOXICAÇÃO RENAL POR MERCÚRIO UTILIZANDO ESPECTROMETRIA GAMA ESTIMULADA POR NÊUTRONS RÁPIDOS

Simulation of detection of renal mercury poisoning using gamma spectrometry stimulated by fast neutrons

Rodrigo Sartorelo Salemi Viana^{1*}, Hélio Yoriyaz², Adimir dos Santos³

^{1,2,3} Centro de Engenharia Nuclear – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/USP

* Autor correspondente: rodrigossviana@gmail.com

² hyoriyaz@ipen.br

³ asantos@ipen.br

Resumo

No presente estudo foi simulada a técnica de espectrometria gama estimulada por nêutrons rápidos com o objetivo de detectar a contaminação por mercúrio nos rins. Foram simulados dois casos onde foram comparados os espectros de um rim com uma concentração natural de mercúrio e outro com ausência de contaminação. Mesmo com uma baixa concentração, foi possível distinguir a presença de dois isótopos do mercúrio, fornecendo indícios para novos estudos para a viabilização do emprego desta técnica espectrométrica no auxílio do diagnóstico clínico.

Abstract

In the current study was simulated gamma spectrometry technique stimulated by fast neutrons in order to detect renal mercury poisoning. It was simulated two cases where the spectra were compared to a kidney with a natural concentration of mercury and healthy one. Even with a low concentration was possible to distinguish the presence of two isotopes of mercury, providing clues for further studies into the feasibility of this technique spectrometric aid in clinical diagnosis.

1. Introdução

Segundo a literatura, dentre outros órgãos, os rins possuem uma grande capacidade de concentrar metais pesados [1]. A intoxicação renal por mercúrio, embora rara, pode provocar danos irreversíveis de acordo com sua concentração presente no tecido biológico.

O mercúrio é um metal pesado cuja ocorrência natural no meio ambiente se dá por meio de fenômenos naturais como erupções vulcânicas e erosão de depósitos minerais. No meio ambiente, o mercúrio pode ser encontrado em várias formas, tais como o mercúrio elemental (Hg^0), o mercúrio inorgânico (Hg^+), sais de mercúrio (Hg^{2+}) e na forma de compostos orgânicos. Cada uma destas

ocorrências possui diferentes características físico-químicas e perfis toxicológicos.

A entrada de mercúrio no corpo humano basicamente se dá pela ingestão de alimentos e água contaminados, poluição atmosférica (queima de combustíveis fósseis) e inspiração de gases ou contato direto em atividades relacionadas à mineração, siderurgia e metalurgia (fatores ocupacionais).

Uma vez absorvido, o mercúrio é depositado em tecidos ricos em gordura [2]. Em humanos, depois de sua oxidação, o mercúrio é depositado primariamente nos rins, sendo os tempos de meia vida de eliminação para o mercúrio elemental e mercúrio inorgânico respectivamente 58 e 62 dias.

Uma vez instalada a toxicidade aguda, são afetados os rins, o sistema nervoso e o sistema imune. Dependendo da taxa de exposição, o trato gastro intestinal, pulmões e a pele também são afetados.

Nos rins, a contaminação por mercúrio causa danos nos túbulos renais e nos glomérulos. Em casos graves, exposições contínuas podem causar necrose tubular e nefrite intersticial [3].

O objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade de detecção na alteração da concentração de mercúrio depositado nos rins utilizando a técnica de espectroscopia gama estimulada por nêutrons rápidos

Esta é uma técnica espectrométrica não invasiva utilizada na estimativa da composição isotópica dos tecidos que compõem o corpo humano. Um feixe de nêutrons rápidos é utilizado para excitar os núcleos dos isótopos estáveis contidos no tecido irradiado, ocasionando a emissão de raios gama característicos provenientes do espalhamento inelástico com os núcleos. Por sua vez, a possibilidade de detecção de baixas concentrações está relacionada com a seção de choque para a reação de espalhamento inelástico do isótopo de interesse. Naturalmente, metais pesados possuem esta característica, tornando possível a aplicação da técnica espectrométrica simulada. A Figura 1 mostra as curvas de seção de choque para a reação

de espalhamento inelástico dos isótopos de mercúrio encontrados na natureza.

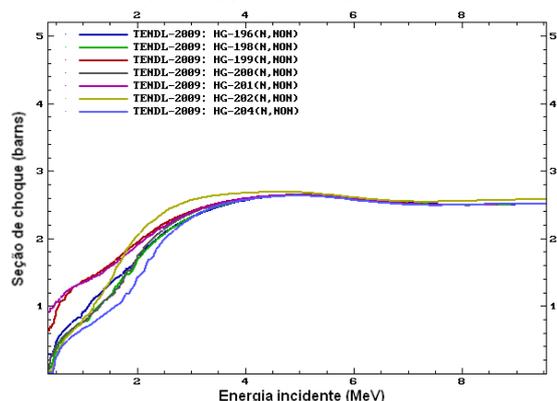


Figura 1 – Seções de choque para a reação de espalhamento inelástico [4].

2. Metodologia

As simulações foram realizadas utilizando o código MCNP5 baseado no método de Monte Carlo para o transporte de radiação no meio. Os rins foram modelados como elipsóides com dimensões 4,6 cm x 4,6 cm x 6 cm, com a composição isotópica referente aos rins [5]. Os rins modelados estão imersos em uma seção cilíndrica de raio igual a 18 cm e altura igual a 10 cm, com uma composição isotópica referente ao tecido mole [nist], representando assim uma seção do tronco. Foi também considerada a presença da coluna vertebral com a finalidade de auxiliar na localização anatômica [6].

Os detectores utilizados foram modelados com a composição do germânio de alta pureza (HPGe) com densidade 5,32 g/cm³ e com a forma geométrica cilíndrica de 5 cm de raio e 12 cm de altura. Os mesmos foram posicionados ao redor do tronco e separados em 90° entre si e 135° em relação ao feixe de nêutrons incidente. A configuração geométrica simulada é apresentada em detalhes na Figura 2.

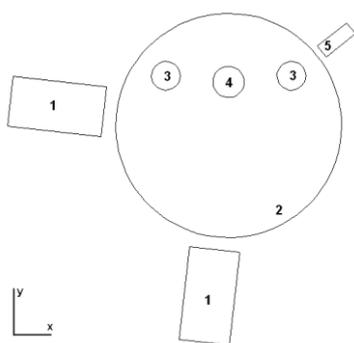


Figura 2 – Geometrias utilizadas nas simulações: 1 – Detectores HPGe; 2 – Tronco; 3 – Rins; 4 – Coluna; 5 – Feixe de nêutrons.

O feixe de nêutrons simulado possui uma seção circular de 1 cm² e um espectro cuja energia máxima é 5 MeV, estando o mesmo posicionado no plano yz e direcionado ao centro do rim.

De acordo com a literatura [7], a concentração natural de mercúrio nos rins de um indivíduo não exposto ocupacionalmente a fontes de contaminação é 1,1 µg/g. Considerando o fato que esta concentração varia de acordo com a localização geográfica, fatores ocupacionais e dieta, esta concentração foi tomada como referência no presente estudo.

As simulações realizadas consideraram duas espectrometrias distintas: ausência de contaminação e a contaminação natural. Para tal propósito, a concentração de mercúrio obtida na literatura foi incorporada à composição dos rins simulados.

Por se tratar de uma técnica espectrométrica, a obtenção do espectro de fundo se faz necessária para a correção das contagens com relação às interações nucleares ocorridas no detector e eventuais interações entre os raios gama espalhados e o ar. Para se obter este espectro, foi simulado um volume com um equivalente de massa do tecido irradiado em água. Logo, o espectro de fundo obtido é compreendido pelas reações ocorridas no detector, no ar e pelos isótopos de hidrogênio e oxigênio da água.

Conseqüentemente, a correção das duas espectrometrias propostas foi feita pela subtração do espectro de fundo. Após a correção dos espectros, os canais de energia foram relacionados com as energias dos raios gama emitidos nos estados excitados dos isótopos de mercúrio.

Devido às baixas concentrações de mercúrio simuladas, é de interesse avaliar a capacidade da espectrometria simulada em detectar a contaminação. Para tal objetivo, após a correção pelo espectro de fundo, o espectro considerando a contaminação natural e o espectro simulado para a ausência de contaminação foram então comparados. Na próxima seção serão apresentados os resultados das espectrometrias simuladas bem como uma estimativa da dose depositada no tronco irradiado.

3. Resultados e discussão

Como descrito na seção anterior, é necessário obter o espectro de fundo para a realização da correção das contagens provenientes das interações nucleares ocorridas no detector e eventuais interações entre os raios gama espalhados e o ar. A massa de tecido irradiado é convertida em equivalente de massa em água e é utilizada como alvo para o feixe de nêutrons, fornecendo posteriormente o espectro de fundo. Neste espectro é esperada principalmente a presença de picos

relacionados com reações nucleares ocorridas na água, no ar e nos detectores. As espectrometrias foram simuladas utilizando $2 \cdot 10^8$ histórias com um erro relativo máximo de 2,8% e os canais energéticos possuem um desvio de ± 2 keV. A Figura 3 mostra o espectro de fundo simulado.

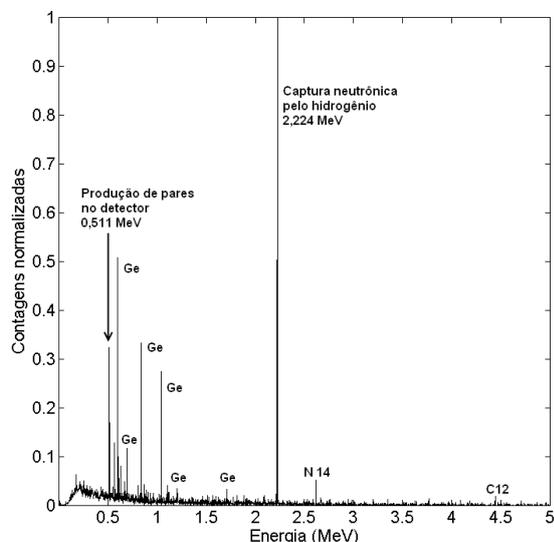


Figura 3 – Espectro de fundo obtido. Detecção dos raios gama referentes à captura neutrônica pelo hidrogênio, transição entre estados excitados do ^{14}N (2,602 MeV) e do ^{12}C (4,438 MeV) presentes no ar, produção de pares e transição entre estados excitados no germânio: 595 MeV, 692 MeV, 834 MeV, 1039 MeV, 1204 MeV e 1713 MeV.

Como esperado, o espectro de fundo assume as contagens referentes aos raios gama originados nas reações nucleares envolvendo o hidrogênio presente na água e interações nucleares ocorridas no ar e nos detectores. O espectro de fundo foi então utilizado na correção do espectro referente à contaminação natural e para o rim não contaminado. A presença da concentração de mercúrio natural no rim foi detectada pela espectrometria gama com uma prevalência dos isótopos ^{200}Hg e ^{202}Hg na proporção 0,63:1. A Figura 4-A mostra o espectro obtido considerando a presença da natural de mercúrio e a Figura 4-B destaca o pico da contagem normalizada para a energia de 520 keV relativa ao isótopo ^{202}Hg .

Por se tratar de uma técnica nova e ainda não empregada em larga escala, uma das primeiras preocupações com o potencial de aplicação clínica é a dose absorvida pelo paciente. Considerando que o feixe incidente de nêutrons possui uma energia máxima de 5 MeV, a energia média calculada depositada por nêutron incidente e outras interações secundárias é da ordem de $7,94 \cdot 10^{-2}$ MeV. Conhecido os volumes dos tecidos irradiados e suas respectivas densidades, a dose absorvida foi

calculada, sendo seu valor obtido na ordem de $1,21 \cdot 10^{-15}$ Gy/nêutron.

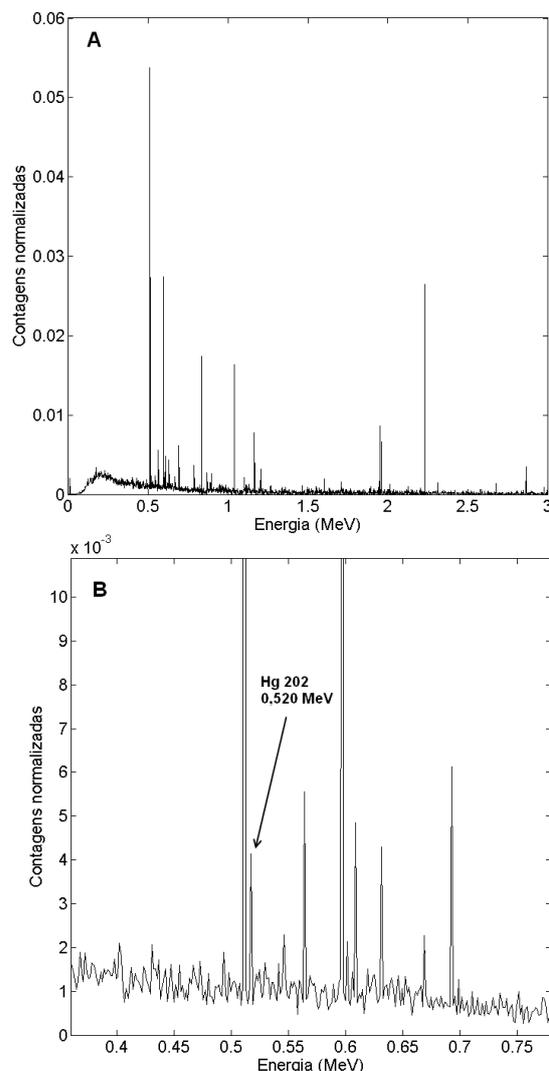


Figura 4 – A. Espectro obtido na presença de mercúrio com uma concentração de 1,1 $\mu\text{g/g}$; B. Contagem normalizada para a energia de 0,520 MeV relativa ao isótopo ^{202}Hg .

4. Conclusão

A espectrometria gama estimulada por nêutrons rápidos apresentada neste estudo foi capaz de detectar a presença de mercúrio depositado no rim com uma baixa concentração. Como os isótopos do mercúrio possuem um alto valor de seção de choque para a reação de espalhamento inelástico, a baixa concentração simulada deste elemento não inviabilizou a espectrometria.

Como esta técnica espectrométrica ainda não está implementada em sua fase clínica, o tempo necessário de irradiação do tecido biológico é desconhecido. Desta forma, o valor calculado para a dose absorvida deve ser tomado como um parâmetro de referência para estudos futuros. Outro

fator que será considerado nos próximos trabalhos é o limiar de concentração detectável no espectro e sua relação com a influência das geometrias na proporcionalidade das contagens normalizadas.

Por se tratar de um procedimento não invasivo, o aperfeiçoamento desta técnica espectrométrica possibilitará a detecção em tempo real de contaminações por metais pesados. Novas pesquisas estão sendo realizadas com o objetivo de avaliar o potencial da espectrometria gama estimulada por nêutrons rápidos no auxílio no diagnóstico clínico de outras patologias.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, processo número 2010/04206-4, pelo suporte financeiro parcial.

6. Referências

- [1] S. Yoshida and H. Satoh, “Mercury tissue concentrations in various organs following a fatal intentional poisoning with mercury chloride”, *Clinical Toxicology*, 46, 783–784, 2008.
- [2] P. Holmes and K. James, “Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health?”, *Science of the Total Environment*, 408, 171–182, 2009.
- [3] P. Soderland and S. Lovekar, “Chronic kidney disease associated with environmental toxins and exposures”, *Advances in Chronic Kidney Disease*, 17, 254–264, 2010.
- [4] Cross Section Evaluation Working Group, ENDEIB-VI, Report BNL-NCS-17541-ENDF-201, edited by P. F. Rose, National Nuclear Data Center, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York. 1991.
- [5] H. Woodard and D. White, “The composition of body tissues”, *The British Journal of Radiology*, 59, 1209-1219, 1986.
- [6] NIST, Physics Laboratory: *Composition of SOFT TISSUE SOFT (ICRP)*, url: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/Star/compos.pl?matno=26>, Acessado em 5 de março de 2010.
- [7] P. Triunfante and M. Soares, “Mercury fatal intoxication: two case reports”, *Forensic Science International*, 184, e1-e6, 2009.