

MODELO METABÓLICO COMPARTIMENTAL PARA INCORPORAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS PARA AVALIAÇÃO DA DOSE EQUIVALENTE EFETIVA COMPROMETIDA EM TRABALHADORES OCUPACIONALMENTE EXPOSTOS NO IPEN

Orlando Rodrigues Júnior

COPESP - Coordenadoria Para Projetos Especiais
Av. Lineu Prestes, 2242 CEP: 05508-001 - São Paulo SP

Goro Hiromoto

IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
C.P. 11409 (Pinheiros) - C.E.P. 05499 - São Paulo SP

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os órgãos internacionais de proteção radiológica têm dado uma crescente ênfase à avaliação de doses decorrentes de incorporações de radionuclídeos por trabalhadores ocupacionalmente expostos. As vias mais importantes de incorporação de radionuclídeos são a inalação e a ingestão.

Os radionuclídeos incorporados se depositam, de acordo com o seu metabolismo, em diferentes órgãos e tecidos que se comportam como fontes de irradiação. A estimativa de dose recebida pelo indivíduo pode normalmente ser efetuada por três métodos: estimativa da incorporação por monitoração individual de ar no local de trabalho; medida direta, "in vivo", do radionuclídeo no corpo inteiro, órgãos específicos ou regiões do corpo; medida indireta, "in vitro", do radionuclídeo no material biológico excretado.

Para a interpretação das medidas obtidas direta e indiretamente, é essencial o conhecimento do comportamento dos radionuclídeos dentro do corpo humano. A incorporação e a dose interna resultante podem ser avaliadas a partir de modelos matemáticos que procuram simular o comportamento de um radionuclídeo dentro do corpo humano através de uma cadeia de compartimentos que representariam os diversos órgão ou regiões do corpo. Esses modelos são chamados de modelos metabólicos e estão associados à interpretação dos resultados das medidas "in vivo" e "in vitro". Utilizando estes conceitos, o ICRP - International Commission on Radiological Protection, propôs, em sua publicação 30 ^{1/}, um modelo metabólico geral para a inalação e ingestão que permite uma avaliação da dose interna recebida para uma série de radionuclídeos. Recentemente, o ICRP apresentou a publicação 54 ^{2/}, que pode ser usada como um guia para programas de monitoração individual de trabalhadores ocupacionalmente expostos. Nesta publicação, são fornecidas as curvas de excreção para uma série de radionuclídeos, calculadas a partir do modelo apresentado pela publicação 30.

O objetivo básico deste trabalho é desenvolver um programa para microcomputadores que resolva o modelo metabólico proposto pela publicação 30 do ICRP e que possa ser usado para a avaliação da dose interna recebida por trabalhadores, resultante da incorporação de qualquer radionuclídeo manuseado no IPEN-CNEN/SP, tanto em situações de rotina como em caso de acidentes.

2. METODOLOGIA

Os processos metabólicos descritos podem ser representados por um sistema de equações diferenciais lineares de primeira ordem com coeficientes constantes. Este sistema pode ser resolvido analiticamente ou através de métodos numéricos para a determinação quantitativa de radionuclídeos presentes nos compartimentos, para qualquer tempo "t" após a incorporação, conhecendo-se as quantidades iniciais nos compartimentos e as taxas de transferência entre os mesmos. Analiticamente, os cálculos podem ser efetuados utilizando-se o método direto de solução de equações diferenciais ou o método das convoluções. Numericamente, pode-se empregar, por exemplo, o método de Runge-Kutta para a integração das equações diferenciais. Em geral, tanto as soluções analíticas como as numéricas são facilmente obtidas apenas para o caso de uma incorporação aguda. No caso de incorporações crônicas ou intermitentes, tais soluções tornam-se complexas e difíceis de serem encontradas.

O modelo original apresentado pela publicação 30 não considera a recirculação do material entre órgãos (feedback), reduzindo o sistema a uma cadeia linear de compartimentos. Para solucionar tais dificuldades, foi estudada uma solução analítica que permitisse a inclusão da recirculação entre compartimentos e a análise de incorporações contínuas.

3. ALGORITMO DESENVOLVIDO

A partir de todos estes conceitos apresentados sobre modelagem metabólica, foi desenvolvido um programa computacional, chamado de INCORP, capaz de fornecer as quantidades do material inicialmente inalado ou ingerido, em qualquer compartimento do modelo apresentado na publicação 30 do ICRP, num tempo "t" após a incorporação. Esse programa resolve o sistema de equações diferenciais de forma analítica e permite a inclusão de recirculação entre os compartimentos, tornando a modelagem mais realista. O efeito resultante de incorporações crônicas ou intermitentes, como as que ocorrem frequentemente nas exposições ocupacionais, pode ser simulado através da definição das condições iniciais. O programa INCORP apresenta um biblioteca com informações sobre os radionuclídeos, tais como, tempo de decaimento e fatores de transferência entre os compartimentos, retirados da publicação 54 do ICRP. Modelos compartimentais diferentes do proposto pela publicação 30 do ICRP também podem ser simulados. Para melhorar a integração, o programa apresenta uma interface interativa onde o usuário pode definir os intervalos de cálculo, os radionuclídeos a serem estudados, vias de incorporação, etc. Foi escolhido, como exemplo de aplicação do programa, a simulação de uma incorporação aguda de urânio, via inalação. O modelo compartimental usado é o proposto pela publicação 30 do ICRP. Os resultados obtidos pelo programa INCORP estão mostrados na figura 1, onde são comparados com os resultados apresentados na publicação 54 do ICRP.

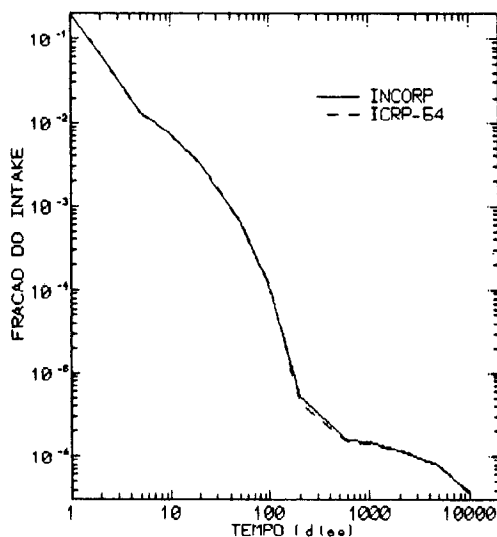


Figura 1: Curva de excreção urinária para urânio, incorporação aguda, via inalação.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos apresentam excelente concordância com os valores apresentados pela publicação 54 do ICRP, indicando que o método de solução adotado é satisfatório. O programa INCORP está sendo testado para outros elementos, visando a ampliação de sua biblioteca de radionuclídeos. Terminando esta etapa, serão construídas as curvas e tabelas de excreção para utilização no programa de monitoração rotineira do IPEN-CNEN/SP.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- /1/ - INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Limits for intakes of radionuclides by workers. Oxford, Pergamon, 1979. (ICRP-30).
- /2/ - INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION. Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers. Oxford, Pergamon, 1988. (ICRP-54).