

MEDICINA NUCLEAR

Prof. Ricardo Pinto Aguiar

Indaial - 2021

1ª Edição

Elaboração:
Prof. Ricardo Pinto Aguiar

Copyright © UNIASSELVI 2021

Revisão, Diagramação e Produção:
Equipe Desenvolvimento de Conteúdos EdTech
Centro Universitário Leonardo da Vinci – UNIASSELVI

Ficha catalográfica elaborada pela equipe Conteúdos EdTech UNIASSELVI

A282m

Aguiar, Ricardo Pinto

Medicina nuclear. / Ricardo Pinto Aguiar. – Indaial: UNIASSELVI, 2021.

183 p.; il.

ISBN 978-65-5663-454-8

ISBN Digital 978-65-5663-450-0

1. Medicina nuclear. – Brasil. II. Centro Universitário Leonardo da Vinci.

CDD 616.0757

APRESENTAÇÃO

Caro acadêmico, seja bem-vindo ao Livro Didático de **Medicina Nuclear**. Neste livro, na Unidade 1, abordaremos a história da Medicina Nuclear, os equipamentos utilizados nos exames de medicina nuclear, os exames que são realizados nessa modalidade e a instrumentação e a aquisição das imagens.

Na Unidade 2, trataremos da utilização dos radioisótopos, do manuseio dos radioisótopos de níveis baixos e intermediários e das dosimetrias de todos os radioisótopos.

Na Unidade 3, veremos os efeitos biológicos das radiações ionizantes na medicina nuclear, os resíduos sólidos e líquidos gerados, a descontaminação, a proteção de pacientes e as barreiras de proteção.

Acadêmico, você percebeu a quantidade de informações importantes para o seu aprendizado? Aproveite as informações deste livro e aprofunde o seu conhecimento em medicina nuclear.

Bons estudos!

Prof. Ricardo Pinto Aguiar

GIO

Olá, eu sou a Gio!

No livro didático, você encontrará blocos com informações adicionais – muitas vezes essenciais para o seu entendimento acadêmico como um todo. Eu ajudarei você a entender melhor o que são essas informações adicionais e por que você poderá se beneficiar ao fazer a leitura dessas informações durante o estudo do livro. Ela trará informações adicionais e outras fontes de conhecimento que complementam o assunto estudado em questão.

Na Educação a Distância, o livro impresso, entregue a todos os acadêmicos desde 2005, é o material-base da disciplina. A partir de 2021, além de nossos livros estarem com um novo visual – com um formato mais prático, que cabe na bolsa e facilita a leitura –, prepare-se para uma jornada também digital, em que você pode acompanhar os recursos adicionais disponibilizados através dos QR Codes ao longo deste livro. O conteúdo continua na íntegra, mas a estrutura interna foi aperfeiçoada com uma nova diagramação no texto, aproveitando ao máximo o espaço da página – o que também contribui para diminuir a extração de árvores para produção de folhas de papel, por exemplo.

Preocupados com o impacto de ações sobre o meio ambiente, apresentamos também este livro no formato digital. Portanto, acadêmico, agora você tem a possibilidade de estudar com versatilidade nas telas do celular, tablet ou computador.

Preparamos também um novo layout. Diante disso, você verá frequentemente o novo visual adquirido. Todos esses ajustes foram pensados a partir de relatos que recebemos nas pesquisas institucionais sobre os materiais impressos, para que você, nossa maior prioridade, possa continuar os seus estudos com um material atualizado e de qualidade.



QR CODE

Olá, acadêmico! Para melhorar a qualidade dos materiais ofertados a você – e dinamizar, ainda mais, os seus estudos –, nós disponibilizamos uma diversidade de QR Codes completamente gratuitos e que nunca expiram. O QR Code é um código que permite que você acesse um conteúdo interativo relacionado ao tema que você está estudando. Para utilizar essa ferramenta, acesse as lojas de aplicativos e baixe um leitor de QR Code. Depois, é só aproveitar essa facilidade para aprimorar os seus estudos.



ENADE

Acadêmico, você sabe o que é o ENADE? O Enade é um dos meios avaliativos dos cursos superiores no sistema federal de educação superior. Todos os estudantes estão habilitados a participar do ENADE (ingressantes e concluintes das áreas e cursos a serem avaliados). Diante disso, preparamos um conteúdo simples e objetivo para complementar a sua compreensão acerca do ENADE. Confira, acessando o QR Code a seguir. Boa leitura!



LEMBRETE



Olá, acadêmico! Iniciamos agora mais uma disciplina e com ela um novo conhecimento.

Com o objetivo de enriquecer seu conhecimento, construímos, além do livro que está em suas mãos, uma rica trilha de aprendizagem, por meio dela você terá contato com o vídeo da disciplina, o objeto de aprendizagem, materiais complementares, entre outros, todos pensados e construídos na intenção de auxiliar seu crescimento.

Acesse o QR Code, que levará ao AVA, e veja as novidades que preparamos para seu estudo.

Conte conosco, estaremos juntos nesta caminhada!



SUMÁRIO

UNIDADE 1 - INTRODUÇÃO A MEDICINA NUCLEAR.....	1
TÓPICO 1 - HISTÓRIA DA MEDICINA NUCLEAR	3
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 HISTÓRIA	4
RESUMO DO TÓPICO 1	8
AUTOATIVIDADE.....	9
TÓPICO 2 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDICINA NUCLEAR.....	11
1 INTRODUÇÃO.....	11
2 EQUIPAMENTO GAMA CÂMARA.....	11
3 SPECT.....	12
4 PET.....	13
5 O CUIDADO COM OS EQUIPAMENTOS	14
6 CONTROLE DE QUALIDADE DOS EQUIPAMENTOS	15
RESUMO DO TÓPICO 2.....	18
AUTOATIVIDADE.....	20
TÓPICO 3 - EXAMES REALIZADOS NESTA MODALIDADE.....	21
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 CINTILOGRAFIA ÓSSEA.....	22
3 CINTILOGRAFIA PULMONAR	24
3.1 CINTILOGRAFIA PULMONAR DE VENTILAÇÃO/INALAÇÃO	24
3.2 CINTILOGRAFIA PULMONAR DE PERFUSÃO	25
4 CINTILOGRAFIA DO SISTEMA CARDIOVASCULAR.....	26
4.1 CINTILOGRAFIA DE PERFUSÃO MIOCÁRDICA COM TÁLIO	27
4.2 CINTILOGRAFIA DO MIOCÁRDIO COM MIBI	28
5 CINTILOGRAFIA GASTROINTESTINAL	30
6 CINTILOGRAFIA DO TRÂNSITO ESOFÁGICO	31
7 CINTILOGRAFIA DAS GLÂNDULAS SALIVARES	32
8 CINTILOGRAFIA DE PERFUSÃO CEREBRAL	33
9 CISTERNOCINTILOGRAFIA	35
10 CINTILOGRAFIA DA TIREOIDE.....	35
10.1 CINTILOGRAFIA DA TIREOIDE COM IODO 131.....	36
10.2 CINTILOGRAFIA DA TIREOIDE COM IODO 123	36
11 CINTILOGRAFIAS PARA INFLAMAÇÕES	36
11.1 CINTILOGRAFIA COM GÁLIO 67	37
11.2 CINTILOGRAFIA DE LEUCÓCITOS MARCADOS.....	38
12 CINTILOGRAFIA DO SISTEMA URINÁRIO	38
12.1 CINTILOGRAFIA RENAL DINÂMICA	38
12.2 CINTILOGRAFIA RENAL ESTÁTICA	39
12.3 CISTOCINTILOGRAFIA.....	41
13 CINTILOGRAFIA ESCROTAL	41
14 PET EM ONCOLOGIA COM FDG¹⁸	43
RESUMO DO TÓPICO 3.....	45
AUTOATIVIDADE.....	47

TÓPICO 4 - INSTRUMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE IMAGENS.....	49
1 INTRODUÇÃO.....	49
2 GAMA CÂMARA.....	49
2.1 COLIMADORES.....	50
2.2 FOTOMULTIPLICADORAS.....	51
2.3 TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE PÓSITRON – PET.....	51
3 TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA POR EMISSÃO DE FÓTON ÚNICO – SPECT.....	53
4 PET/CT.....	54
RESUMO DO TÓPICO 4.....	57
AUTOATIVIDADE.....	60

REFERÊNCIAS.....	61
-------------------------	-----------

UNIDADE 2 – RADIOISÓTOPOS EM MEDICINA NUCLEAR.....	63
---	-----------

TÓPICO 1 – UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS.....	65
--	-----------

1 INTRODUÇÃO.....	65
--------------------------	-----------

2 UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS.....	66
---	-----------

2.1 TECNÉCIO-99M.....	66
2.1.1 Armazenamento do gerador de tecnécio-99m.....	69
2.1.2 Indicações de utilização do pertecnetato de sódio.....	69
2.1.3 Flúor-18.....	69
2.1.4 Indicações de utilização do Flúor-18.....	70
2.1.5 Iodo-131.....	70
2.1.6 Indicações de utilização do Iodo 131.....	71
2.1.7 Gálio-67.....	71
2.1.8 Indicações de utilização do gálio-67 (citrato de gálio).....	73
2.1.9 Iodo 123.....	73
2.1.10 Utilização dos radiofármacos na amamentação.....	75

LEITURA COMPLEMENTAR.....	77
----------------------------------	-----------

RESUMO DO TÓPICO 1.....	80
--------------------------------	-----------

AUTOATIVIDADE.....	82
---------------------------	-----------

TÓPICO 2 - MANUSEIO DE RADIOISÓTOPOS DE NÍVEIS BAIXOS E INTERMEDIÁRIOS.....	83
--	-----------

1 INTRODUÇÃO.....	83
--------------------------	-----------

2 MANUSEIO DE RADIOISÓTOPOS SEGUNDO NORMAS DA CNEN.....	84
--	-----------

3 LIMITES DE DOSES QUE DEVEM SER LEVADOS EM CONSIDERAÇÃO QUANTO AO MANUSEIO.....	86
---	-----------

4 AÇÕES QUE DEVEM SER LEVADAS EM CONSIDERAÇÃO QUANTO AO MANUSEIO DE FONTES DE RADIAÇÃO.....	87
--	-----------

5 SALA DE MANIPULAÇÃO DOS RADIOISÓTOPOS.....	88
---	-----------

6 PREPARO E ADMINISTRAÇÃO DOS RADIOFÁRMACOS.....	89
---	-----------

7 BOAS PRÁTICAS DE SEGURANÇA DO PACIENTE.....	90
--	-----------

8 TIPOS DE RADIOISÓTOPOS.....	91
--------------------------------------	-----------

LEITURA COMPLEMENTAR.....	93
----------------------------------	-----------

RESUMO DO TÓPICO 2.....	98
--------------------------------	-----------

AUTOATIVIDADE.....	100
---------------------------	------------

TÓPICO 3 - DOSIMETRIA E RADIOISÓTOPOS.....	101
---	------------

1 INTRODUÇÃO.....	101
--------------------------	------------

2 DOSIMETRIA NA MEDICINA NUCLEAR, SEGUNDO AS NORMAS.....	102
---	------------

3 TECNÉCIO 99M.....	103
----------------------------	------------

4 IODO 123	104
5 IODO 131	105
6 GÁLIO-67	106
7 CALIBRADOR DE DOSE	107
LEITURA COMPLEMENTAR	109
RESUMO DO TÓPICO 3	115
AUTOATIVIDADE	117
REFERÊNCIAS	118
UNIDADE 3 – RADIOPROTEÇÃO EM MEDICINA NUCLEAR	121
TÓPICO 1 – EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES EM MEDICINA NUCLEAR	123
1 INTRODUÇÃO	123
2 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE COM AS CÉLULAS	124
3 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE	127
3.1 EFEITOS ESTOCÁSTICOS.....	127
3.2 EFEITOS DETERMINÍSTICOS	127
4 PROTEÇÃO DO SISTEMA BIOLÓGICO À RADIAÇÃO	129
5 EFEITOS BIOLÓGICOS EM GRÁVIDAS	129
6 IRRADIAÇÃO DE CORPO INTEIRO	129
LEITURA COMPLEMENTAR	131
RESUMO DO TÓPICO 1	136
AUTOATIVIDADE	138
TÓPICO 2 - RESÍDUOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS	139
1 INTRODUÇÃO	139
2 REJEITOS RADIOATIVOS EM SERVIÇOS DE MEDICINA NUCLEAR	140
2.1 GERENCIAMENTO DE REJEITOS.....	140
3 REJEITOS RADIOATIVOS DE MÉDIO E BAIXO NÍVEIS DE RADIAÇÃO	142
3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS REJEITOS RADIOATIVOS	143
3.2 ARMAZENAMENTO INICIAL OU INTERMEDIÁRIO DOS REJEITOS RADIOATIVOS.....	144
3.3 DISPENSA DE REJEITOS SÓLIDOS	145
3.4 DISPENSA DE REJEITOS LÍQUIDOS	145
LEITURA COMPLEMENTAR	146
RESUMO DO TÓPICO 2	151
AUTOATIVIDADE	152
TÓPICO 3 - DESCONTAMINAÇÃO	153
1 INTRODUÇÃO	153
2 LABORATÓRIO DE RADIOFARMÁCIA	154
3 ADEQUAÇÕES DO SETOR DE MEDICINA NUCLEAR QUE FACILITAM NO PROCESSO DE DESCONTAMINAÇÃO	155
3.1 PISOS.....	155
3.2 PAREDES	156
3.3 TORNEIRAS	156
3.4 PIAS	156
3.5 EXAUSTOR	157
3.6 ACONDICIONAMENTO DE GERADORES RADIOATIVOS	157
3.7 SALA DE REJEITOS RADIOATIVOS	158
3.8 BANHEIROS DOS FUNCIONÁRIOS.....	158

LEITURA COMPLEMENTAR	159
RESUMO DO TÓPICO 3	165
AUTOATIVIDADE	167
TÓPICO 4 - PROTEÇÃO DE PACIENTES E BARREIRAS DE PROTEÇÃO	169
1 INTRODUÇÃO	169
2 PROTEÇÃO DE PACIENTES NO SERVIÇO DE MEDICINA NUCLEAR	170
2.1 RESPONSABILIDADES DOS PROFISSIONAIS DO SERVIÇO DE MEDICINA NUCLEAR COM A PROTEÇÃO DO PACIENTE	170
2.1.1 Titular do serviço de Medicina Nuclear	170
2.1.2 Supervisor de proteção radiológica	171
2.1.3 Responsável técnico pelo serviço de Medicina Nuclear	171
2.1.4 Indivíduo Ocupacionalmente Exposto (IOE)	171
3 INSTALAÇÕES VISANDO À SEGURANÇA DO PACIENTE	172
4 PROTEÇÃO DE PACIENTES NA TERAPIA	172
5 BARREIRAS DE PROTEÇÃO	173
LEITURA COMPLEMENTAR	175
RESUMO DO TÓPICO 4	180
AUTOATIVIDADE	182
REFERÊNCIAS	183

INTRODUÇÃO A MEDICINA NUCLEAR

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- entender a história da medicina nuclear;
- conhecer as personagens importantes para o avanço da técnica;
- compreender a descoberta da radioatividade;
- compreender a descoberta do primeiro cíclotron;
- conhecer os primeiros radionuclídeos utilizados;
- compreender os equipamentos utilizados na medicina nuclear;
- compreender a atenção que deve ser dada ao paciente no momento do exame;
- entender o que é um checklist do equipamento;
- compreender a importância do controle de qualidade dos equipamentos.

PLANO DE ESTUDOS

A cada tópico desta unidade você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – HISTÓRIA DA MEDICINA NUCLEAR

TÓPICO 2 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDICINA NUCLEAR

TÓPICO 3 – EXAMES REALIZADOS NESTA MODALIDADE

TÓPICO 4 – INSTRUMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DAS IMAGENS



CHAMADA

Preparado para ampliar seus conhecimentos? Respire e vamos em frente! Procure um ambiente que facilite a concentração, assim absorverá melhor as informações.



CONFIRA A TRILHA DA UNIDADE 1!

Acesse o
QR Code abaixo:



HISTÓRIA DA MEDICINA NUCLEAR

1 INTRODUÇÃO

Prezado acadêmico de tecnologia em radiologia, vamos conhecer a história da Medicina Nuclear? Aproveite e aprofunde a leitura para melhor entender partes importantes dessa área fantástica do diagnóstico médico.

Dentro do diagnóstico por imagem, a Medicina Nuclear (MN) é uma especialidade médica que utiliza fontes não seladas de material radioativo para a visualização de patologias e, até mesmo, de tratamentos. Na MN, quem emite radiação é o paciente, e não o equipamento, como em equipamentos que emitem radiação ionizante, como a tomografia computadorizada e de raios-X digital ou convencional.

Quando só se utilizava o equipamento gama câmara para o exame, a radiação proveniente do paciente era captada pelo equipamento. Essa radiação, proveniente do paciente, é proveniente da administração de radiofármacos, utilizados para cada tipo de exame específico.

Com o avanço dos equipamentos, começou a emissão de radiação por equipamentos nos exames de medicina nuclear, por exemplo, a PET/CT, que é um equipamento híbrido que traz, no gantry, uma fileira de detectores de radiação baseados no princípio de aquisição da gama câmara, além de uma tomografia computadorizada.

O processo da gama câmara processa imagens fisiológicas e a tomografia computadorizada deve produzir imagens anatômicas. Essa fusão de imagens torna o diagnóstico mais completo para detectar lesões em órgãos.

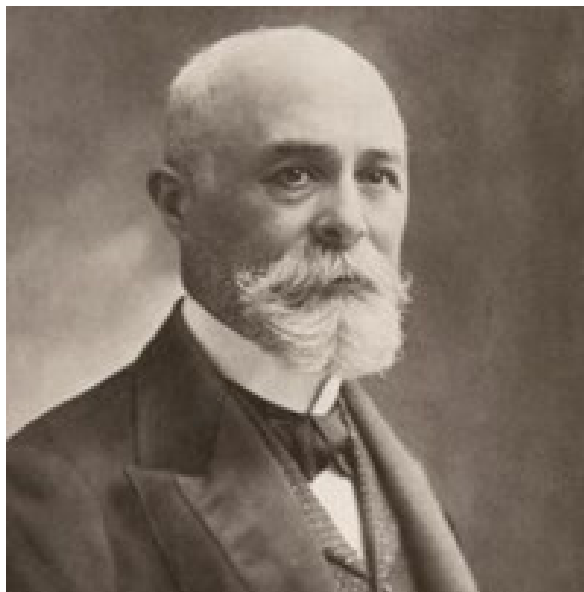
Os exames realizados na medicina nuclear são chamados de cintilografias, e podem ser realizados nos seguintes sistemas: esquelético, pulmonar, cardiovascular, hepatobiliar, gastrointestinal, nervoso central, geniturinário e endócrino. As cintilografias também podem ser realizadas em exames para detectar inflamação e infecção e, principalmente, na oncologia, para detecção de tumores.

Perceba, acadêmico, como a medicina nuclear é uma técnica muito interessante. Vamos aprofundar os estudos?!

2 HISTÓRIA

Diretamente, os inventores da MN foram Antoine Henri Becquerel, Pierre Curie e Marie Curie, que, com as descobertas, evidenciaram o uso da radioatividade. Antoine Henri Becquerel, através dos seus estudos, demonstrou que o urânio emitia radiação e que essa descoberta poderia trazer benefícios para a humanidade. Essa descoberta deu, a ele, o Prêmio Nobel de Física.

FIGURA 1 - ANTOINE HENRI BEQUEREL



FONTE: <<https://radiopaedia.org/cases/antoine-henri-becquerel-photo?lang=us>>. Acesso em: 24 dez. 2020.

Já Pierre e Marie Curie foram pioneiros ao usar o termo radioatividade, devido às pesquisas realizadas com a descoberta do polônio e do rádio. Descobriram a emissão das partículas radioativas do rádio e que a emissão dessas partículas possui cargas positivas e negativas, que correspondem às partículas alfa, beta e gama. Notaram, também, que não só o urânio emitia radiação, mas outros elementos pesquisados. O elemento radioativo polônio, descoberto por Marie Curie, ocupa o lugar de número atômico 84 na tabela periódica, em seguida, vem o rádio, elemento radioativo número 88 na tabela periódica (TOLENTINO; ROCHA, 1995).

Madame Curie faleceu em Paris, de anemia perniciosa aplásica, acreditando-se que foi uma manifestação à leucemia causada pela radiação, decorrente dos trabalhos com elementos radioativos. Essas pesquisas, que lhe custaram a vida, serviram para o avanço da radiologia na área de diagnóstico de doenças.

FIGURA 2 - MARIE CURIE



FONTE: <<https://radiopaedia.org/articles/marie-sklodowska-curie-1?lang=us>>. Acesso em: 24 dez. 2020.

Depois da descoberta da radioatividade, em 1913, houve o início do uso de traçadores radioativos pelo químico húngaro George de Hevesy, que utilizou o nitrato de chumbo (Pb) para evidenciar movimento em plantas. Essa descoberta lhe rendeu o Prêmio Nobel de Química, em 1943.

Os pesquisadores Herrmann L Blumgart e Soma Weiss, em 1927, realizaram testes e descobriram que a utilização da substância radioativa radônio, quando injetado em um braço, traz uma velocidade sanguínea na chegada ao outro braço. Esse experimento foi detectado pela câmara de Wilson.

Outro fato marcante que foi crucial para o surgimento da medicina nuclear foi a construção do primeiro ciclotron, por Ernest O. Lawrence e M. Stanley Livingstone, em 1932. Esse ciclotron produzia radionuclídeos artificiais, através do bombardeamento de núcleos-alvos por partículas positivas aceleradas. Esse ciclotron foi suficiente para o uso médico na época e grande parte do estudo estava voltado à avaliação da glândula tireoide, para detectar as disfunções com o uso do radionuclídeo I^{131} na forma de iodeto. A detecção do elemento radioativo I^{131} , na glândula tireoide, era realizada pelo contador Geiger Muller.

O uso da medicina nuclear, utilizando radionuclídeos como diagnóstico, deu-se mesmo com a criação do primeiro mapeador linear, por Benedict Cassen, em 1951. Antes disso, em 1949, na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (USP), foi inaugurado o primeiro laboratório de isótopos da América Latina, em 1954, onde foi inaugurada a Clínica de Medicina Nuclear, no serviço de radioterapia do Hospital Das Clínicas, da faculdade de medicina da USP, com utilização do iodo radioativo para diagnóstico de alterações da glândula tireoide em pacientes (SBMN, 2020).

A partir desses fatos históricos do surgimento da medicina nuclear, o fato que mais marcou foi a introdução do radionuclídeo tecnécio (^{99m}Tc) como marcador, por Paul Harper e equipe, que, através de vários testes, conseguiram descobrir que o tecnécio (^{99m}Tc) possui meia vida de 6,02 h e energia de 140 KeV. O tecnécio (^{99m}Tc) é produzido pela desintegração do elemento radioativo molibdênio ^{99}Mo , fornecendo uma forma constante de extração através dos geradores utilizados em centros de medicina nuclear. O ^{99m}Tc tem grande vantagem por conseguir marcar um grande número de fármacos, fazendo com que seja aplicado em órgãos e em sistemas do corpo.

Em 1956, a medicina nuclear tomou um grande impulso, devido à análise de processos de fluídos orgânicos, utilizando traçadores, uma técnica conhecida como radioimunoanálise. A técnica da radioimunoanálise é muito utilizada para dosagem de hormônios, marcados com I125 isótopo radioativo do elemento Iodo, que tem meia vida de 59 dias.

Outra invenção importante para o deslanche da medicina nuclear foi a câmara gama ou gama câmara, como popularmente chamada. Esse equipamento foi criado por Hal Oscar Anger, um americano engenheiro elétrico que recebeu muitos prêmios na área da medicina nuclear pelas descobertas. Essa câmara gama tem a finalidade de medir a radiação de amostras, apresentando melhoria na captação da imagem, sem a movimentação do detector.

Após a invenção de Anger, ainda não se tinha como armazenar as imagens produzidas pelo equipamento, mas, em 1960, graças ao desenvolvimento do computador, foi possível obter imagens da câmara de cintilação, além de armazená-las.

Daí em diante, surgiu a radiofarmácia, que é uma especialidade farmacêutica que trata da produção e da manipulação de fármacos para uso na medicina nuclear, que se difundiu em 1962, após a implantação do computador acoplado ao equipamento de medicina nuclear, que melhorou as imagens obtidas. Todas as atividades voltadas à radiofarmácia devem obedecer às Normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e as exigências de proteção radiológica devem estar de acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

Os radiofármacos são compostos de fármacos e de elementos radioativos, como o ^{99m}Tc . Na maioria das vezes, esses radiofármacos são administrados por via intravenosa, com a finalidade de diagnóstico ou terapia de doenças.

No Brasil, a produção de radiofármacos é realizada pelo Instituto de Engenharia Nuclear (IEN). A produção começou em 1974, com a aquisição do Cíclotron CV-28, dando início ao uso em aplicações médicas, com a produção do radionuclídeo iodo-123 na forma de iodeto de sódio, utilizado para detecção de patologias da tireoide, mas o iodo 123 foi substituído pelo iodo 131. Essa substituição trouxe benefícios em menor dose de radiação para os pacientes e menor impacto ambiental.

Depois que o IEN adquiriu o ciclotron RDS 111, a produção do radionuclídeo flúor-18 tomou grande escala de uso no país. Esse isótopo é utilizado para a síntese do radiofármaco flúor-desoxiglicose (FDG), utilizado para diagnóstico de exames de cardiologia, neurologia e oncologia.

Acadêmico agora que já sabemos a história da MN, aprofundaremos os conhecimentos dos equipamentos utilizados no diagnóstico dessa área de diagnóstico fantástica.

DICA

Para conhecimento do tema, leia o seguinte artigo: <http://www.ghtc.usp.br/server/pdf/curie-a1.pdf>.



RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu:

- Dentro do diagnóstico por imagem, a Medicina Nuclear (MN) é uma especialidade médica que utiliza fontes não seladas de material radioativo para visualização de patologias e tratamentos.
- Quando só se utilizava o equipamento gama câmara para o exame, a radiação proveniente do paciente era captada pelo equipamento.
- Com o avanço dos equipamentos, a emissão de radiação nos exames de MN começou a existir pelo motivo de equipamentos, como SPECT e PET/CT, serem equipamentos híbridos que trazem, no gantry, uma gama câmara e uma tomografia computadorizada.
- A gama câmara produz imagens fisiológicas e, a tomografia computadorizada, imagens anatômicas. Essa fusão de imagens torna o diagnóstico mais completo para detectar lesões em órgãos.
- Os inventores da medicina nuclear foram Antoine Henri Bequerel, Pierre Curie e Marie Curie, que, com as descobertas, evidenciaram o uso da radioatividade.
- Com relação à descoberta do uso do radionuclídeo tecnécio (^{99m}Tc) como marcador, por Paul Harper e equipe, através de vários testes, conseguiram verificar que o tecnécio (^{99m}Tc) possui meia vida de 6,02 h e energia de 140 KeV.
- Os radiofármacos são compostos de fármacos e de elementos radioativos, como o ^{99m}Tc . Na maioria das vezes, esses radiofármacos são administrados por via intravenosa, com finalidade de diagnóstico ou de terapia de doenças.
- Em 1956, a medicina nuclear tomou um grande impulso, devido à análise de processos de fluídos orgânicos, utilizando traçadores, uma técnica conhecida como radioimunoanálise.
- Todas as atividades voltadas à radiofarmácia devem obedecer às Normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), e as exigências de proteção radiológica devem estar de acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).
- Depois que o IEN adquiriu o ciclotron RDS 111 à produção do radionuclídeo flúor-18, tomando grande escala de uso no país, esse isótopo é utilizado para a síntese do radiofármaco flúor-desoxiglicose (FDG), utilizado para diagnóstico de exames de cardiologia, neurologia e, principalmente, oncologia.

AUTOATIVIDADE



1 Outra invenção importante para o deslanche da medicina nuclear foi um equipamento criado por Hal Oscar Anger, um americano engenheiro elétrico que recebeu muitos prêmios na área da medicina nuclear pelas descobertas. Podemos dizer que esse equipamento é:

- a) () Gama câmara.
- b) () PET
- c) () PET/CT.
- d) () SPECT.
- e) () PET/câmara.

2 No Brasil a produção de radiofármacos é realizada pelo Instituto de Engenharia Nuclear (IEN). A produção começou em 1974, com a aquisição de um equipamento que deu início à produção do radionuclídeo iodo-123 na forma de iodeto de sódio, utilizado para detecção de patologias da tireoide. Podemos dizer que esse equipamento que fez começar a produção do radionuclídeo iodo-123 é:

- I- Cíclotron CV-28.
- II- Gama câmara.
- III- PET/CT.
- IV- Cíclotron RDS 111.
- V- PET/câmara.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) () Apenas a I está correta.
- b) () Apenas I e II estão corretas.
- c) () Apenas a III está correta.
- d) () Todas estão corretas.

3 Descreva quem construiu o primeiro cíclotron e o que era feito com esse equipamento.

4 Cite cinco pontos importantes da história de vida do casal Curie.

EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NA MEDICINA NUCLEAR

1 INTRODUÇÃO

Agora, abordaremos os equipamentos utilizados nos exames de Medicina Nuclear. Esses equipamentos são importantes para gerar imagens necessárias para diagnósticos realizados pelo médico. Você, acadêmico de radiologia, deve entendê-los para poder aplicar a teoria na prática no momento do uso desses equipamentos.

Como foi informado no Tópico 1, a formação das imagens na Medicina Nuclear é realizada através da captação da radiação emitida por radioisótopos utilizados nos exames. Esses radioisótopos, compostos pelos fármacos, formam os radiofármacos, que são administrados nos pacientes. Geralmente, o fármaco utilizado tem afinidade com o órgão a ser estudado, e isso faz com que o fármaco se agregue ao órgão estudado e leve, com ele, o elemento radioativo. Com o radiofármaco agregado ao órgão estudado, o equipamento capta as informações fisiológicas.

A radiação emitida é captada por um equipamento chamado de gama-câmara (câmara de cintilação). O equipamento é formado por cristais de cintilação que, em contato com a radiação gama, fazem com que os cristais cintilem. O fenômeno, que acontece com a captação da radiação pelos cristais de cintilação, nomeia os exames de medicina nuclear como cintilografia, que significa, em grego, *cintilo*, brilho, e *grafia*, fotografia.

Prezado acadêmico, fique atento às informações que você lerá a seguir para que não tenha dúvidas quando começarmos a ver os tipos de exames de cintilografia realizados na Medicina Nuclear.

2 EQUIPAMENTO GAMA CÂMARA

O primeiro equipamento que vamos abordar é a gama câmara planar, criada por Hal Anger. Esse equipamento é interligado a computadores que armazenam as imagens obtidas fornecidas pelo detector de raios-gama, que são formados de cristais de iodeto de sódio, que transformam as energias recebidas dos raios-gama em fótons de luz, fenômeno chamado de fluorescência.

Os fótons de luz são recebidos por fotomultiplicadoras que enviam o sinal através de pulsos elétricos, que são tratados através do software utilizado pelo computador, acoplado ao equipamento, formando as imagens planares. Então, mais resumidamente, os componentes que constituem a gama câmara são: colimador, detector de cristal, matriz de tubo, fotomultiplicadores, circuitos e um computador utilizado para a análise de dados.

A seguir, mostraremos um equipamento antigo de câmara de cintilação modelo Sigma 400, da marca Ohio Nuclear. Esse equipamento não é mais utilizado em serviços de Medicina Nuclear atuais.

FIGURA 3 – CÂMARA DE CINTILAÇÃO MODELO SIGMA 400



FONTE: <<https://bit.ly/3ImE7pC>>. Acesso em: 29 dez. 2020.

A partir desse equipamento mostrado, os equipamentos utilizados para gerar imagens de cintilografias em exames de Medicina Nuclear foram avançando. Conheceremos alguns desses aparelhos utilizados, atualmente, nos grandes centros de diagnóstico.

3 SPECT

O surgimento do equipamento SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*), que significa tomografia computadorizada com emissão de fóton único, é uma tecnologia que ganhou destaque na aquisição de imagens na Medicina Nuclear, por adquirir uma quantidade maior de imagens fisiológicas obtidas pelo sistema de detecção baseado na gama câmara antiga.

No equipamento SPECT, as imagens são obtidas através da injeção da substância radioativa no paciente. As imagens obtidas podem ser planas e transaxiais. As imagens transaxiais são obtidas por causa dos cortes tomográficos. As imagens fisiológicas obtidas são importantes para um diagnóstico médico completo. As imagens obtidas por essa tecnologia podem ser em 3D e reconstruídas em cortes sagitais e coronais.

FIGURA 4 – SPECT SIEMENS SYMBIA EVO



FONTE: <<https://bit.ly/3Aq679M>>. Acesso em: 29 dez. 2020.

Segundo a Siemens®, o SPECT Symbia Evo tem um foco maior na produtividade de exames (imagens mais rápidas), com alta sensibilidade no colimador, o melhor da resolução de reconstrução 3D, melhor detecção da lesão, mais contagens (menor tempo de exame), aumentando o contraste da imagem. Ainda, o equipamento é projetado para realizar exames em pacientes obesos e claustrofóbicos (SIEMENS, 2020).

A Siemens® também cita que se não houver como colocar o paciente na mesa de exames do SPECT Symbia Evo, o exame pode ser realizado em uma maca ou em uma cama de hospital, eliminando a necessidade de mover o paciente (SIEMENS, 2020).

Os exames com o SPECT são utilizados, rotineiramente, para detectar problemas cardíacos, esqueléticos e gastrointestinais, através de imagens fisiológicas, assim, os médicos avaliam a função dos órgãos estudados. As imagens fornecidas em 3D, pelos cortes da tomografia, ajudam aos médicos a detectarem o local anatômico preciso da lesão.

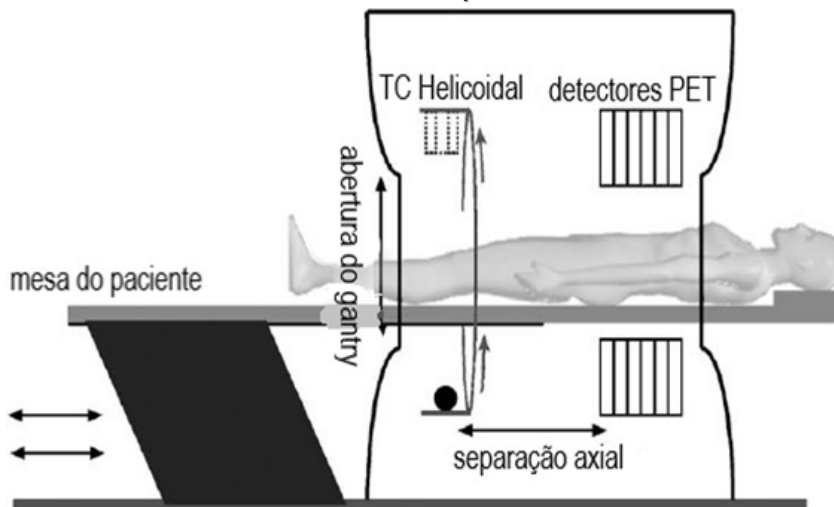
4 PET

Atualmente, não é só o equipamento SPECT que pode ser utilizado para gerar imagens na Medicina Nuclear. Dependendo do estudo solicitado pelo radiologista, pode ser utilizada a PET/CT, que nada mais é que uma tomografia por emissão de pósitrons (PET) agregada à tomografia computadorizada (TC) em um *gantry*. Esse equipamento detecta alterações a nível celular, fazendo com que diagnósticos precoces sejam dados em relação às doenças (CAMARGO, 2015).

A diferença dos equipamentos SPECT e PET/CT se dá pelo tipo de marcador utilizado na geração de imagens. O SPECT utiliza um único gerador de fótons, e a PET/CT usa um emissor de pósitrons, que emite dois pares em direções opostas.

A seguir, mostraremos os principais componentes de um equipamento de PET/CT híbrido, a mesa de exames, assim, o paciente é levado para dentro do *gantry* do equipamento, e, dentro deste, tem, primeiramente, as imagens geradas pela TC, e, depois, pela varredura PET, gerando a fusão de imagens anatômicas e fisiológicas para o diagnóstico.

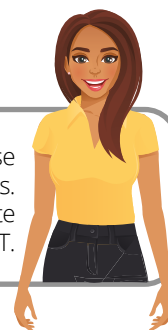
FIGURA 5 – DIAGRAMA DO EQUIPAMENTO PET/CT



FONTE: <<https://bit.ly/3AwQc9M>>. Acesso em: 3 fev. 2021.

NOTA

A forma híbrida de criação dos equipamentos fez com que o avanço chegasse mais ainda no diagnóstico por imagem, e a PET/RM é um desses avanços atuais. Os exames cardiológicos, neurológicos e oncológicos ganham muito, no contraste obtido pela RM, nos tecidos moles, com as informações fisiológicas obtidas pela PET.



5 O CUIDADO COM OS EQUIPAMENTOS

Agora que já conhecemos as partes integrantes da formação do equipamento híbrido PET/CT, veremos o papel do tecnólogo em radiologia em relação aos cuidados com os equipamentos utilizados nos exames. A principal função do tecnólogo é realizar o exame, além de garantir o funcionamento dos equipamentos. O tecnólogo em radiologia, que atua na Medicina Nuclear, deve perceber se os equipamentos estão funcionando corretamente ou não, e, se constatar que o equipamento não está funcionando corretamente, deve, imediatamente, acionar a engenharia clínica do centro de diagnóstico em Medicina Nuclear para tomar as providências necessárias para o concerto do equipamento. Se não houver engenharia clínica, deve-se avisar ao supervisor acerca do mau funcionamento do equipamento.

Para os equipamentos novos comprados e recém-instalados, os fabricantes dão assistência para qualquer pane que possa ocorrer, mas, se o equipamento for comprado usado, a atenção ao funcionamento deve ser diária. É importante o serviço de Medicina Nuclear ter uma checklist do funcionamento do equipamento. Esse documento deve ser realizado por escrito, pelo próprio tecnólogo em radiologia, que atua diretamente com o equipamento.

NOTA

Por que é bom fazer checklist do equipamento, prezado acadêmico? Como a demanda do serviço de Medicina Nuclear não para e os pacientes precisam de diagnósticos rápidos, defeitos apresentados no equipamento devem ser imediatamente sanados, para que os diagnósticos não fiquem prejudicados e os pacientes sejam tratados o mais rápido possível.



O tecnólogo em radiologia também deve ser cordial com os pacientes, ficar sempre atento ao conforto no momento dos exames de cintilografia e, de nenhuma forma, mencionar qualquer tipo de informação obtido no exame.

6 CONTROLE DE QUALIDADE DOS EQUIPAMENTOS

O controle de qualidade dos equipamentos utilizados para gerar imagens na Medicina Nuclear deve seguir as normas vigentes, por exemplo, a norma CNEN 3.05, na Seção III, citando que o titular de Medicina Nuclear deve garantir:

- Testes de aceitação.
- Controle de qualidade dos equipamentos diagnósticos.
- Equipamentos que garantam a realização de testes e instrumentos utilizados para medicação da radiação.

Segundo a norma CNEN 3.05:

- Testes de aceitação: conjunto de testes de segurança e de desempenho realizado como parte do processo de instalação do equipamento, para demonstrar que o instrumento de medição da radiação ou equipamento de diagnóstico adquirido atenda aos requisitos estabelecidos pelo fabricante, pelas resoluções da CNEN, pelas demais normas nacionais e internacionais e pelo usuário ou representante legal.
- Testes de controle da qualidade: conjunto de testes de segurança e de desempenho realizado periodicamente, a fim de avaliar se o instrumento de medição da radiação ou equipamento de diagnóstico continua atendendo aos requisitos das resoluções da CNEN e das demais normas nacionais e internacionais. Ainda, aos valores de referência estabelecidos durante os testes de aceitação.

No caso de equipamentos PET ou híbridos PET/CT, os algoritmos NEMA (*National Equipment Manufacturers Association*), utilizados no controle de qualidade dos sistemas de detecção de pósitrons, devem ser fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos (CNEN 3.05).

NOTA

O titular do serviço de medicina nuclear, geralmente, é um médico nuclear.



O anexo III, da norma 3.05, da CNEN, cita os testes que devem ser realizados em equipamentos com câmara cintilográficas, como a gama câmara e o SPECT. Agora, veremos alguns desses testes:

- Inspeção visual da integridade física do sistema.
- Uniformidade intrínseca ou extrínseca, de campo integral e diferencial para baixa densidade de contagem.
- Centralização e largura da janela energética para cada radionuclídeo.
- Radiação de fundo da sala de exame.
- Uniformidade intrínseca de campo integral e diferencial, se o equipamento dispuser dessa função para alta densidade de contagem.
- Uniformidade intrínseca para núclídeos diferentes de ^{99m}Tc .
- Uniformidade intrínseca com janelas energéticas assimétricas.
- Resolução e linearidade espacial intrínsecas.
- Centro de rotação da câmara SPECT.
- Sensibilidade plana ou tomográfica.
- Desempenho geral da câmara SPECT.
- Teste de tamanho do pixel.
- Registro SPECT-CT.

Os testes de controle de qualidade também são solicitados e devem ser realizados em equipamentos de diagnóstico com a emissão de pósitrons, como a PET e a PET/CT. Veremos alguns testes que devem ser realizados, de acordo com a norma CNEN 3.05:

- Inspeção visual da integridade física do sistema.
- Verificação da estabilidade do sistema de detectores.
- Verificação da calibração do sistema.
- Registro PET/CT.
- Verificação da sensibilidade de detecção com o volume.
- Resolução energética.
- Resolução espacial nas direções transversal e axial.

- Sensibilidade.
- Espessura de corte.
- Desempenho da taxa de contagem.
- Desempenho geral PET.
- Desempenho geral PET/CT.
- Partes mecânicas do equipamento.
- Tamanho do pixel.

Cada teste citado tem a periodicidade ou o tempo:

- Aceitação, ou após serviços de manutenção ou correção, ou quando os valores estiverem fora do intervalo de tolerância em relação ao valor de referência.
- **D** = Diário.
- **Sem** = Semanal.
- **M** = Mensal.
- **T** = Trimestral.
- **S** = Semestral.
- **An** = Anual.
- **Fab** = Segundo recomendação do fabricante.

DICA

Cada teste mencionado pode ser estudado na Norma CNEN 3.05, disponível na página da Comissão Nacional de Energia Nuclear, no item "normas". Ainda, para conhecimento do tema, leia o seguinte artigo: <https://www.scielo.org/pdf/rpsp/2006.v20n2-3/134-142/pt>.



RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você aprendeu:

- A radiação emitida é captada por um equipamento chamado de gama câmara (câmara de cintilação). Esse equipamento é formado por cristais de cintilação que, em contato com a radiação gama, os cristais cintilam.
- O primeiro equipamento abordado é a gama câmara planar, criada por Hal Anger. Esse equipamento é interligado a computadores que armazenam as imagens obtidas fornecidas pelo detector de raios-gama, que são formados por cristais de iodeto de sódio que transformam as energias recebidas dos raios-gama em fótons de luz, fenômeno chamado de fluorescência.
- Os fótons de luz são recebidos por fotomultiplicadores do equipamento gama câmara, que enviam o sinal através de pulsos elétricos, que são tratados através do software utilizado pelo computador acoplado ao equipamento, formando as imagens planares.
- Os componentes que constituem a gama câmara são: colimador, detector de cristal, matriz de tubo, fotomultiplicadores, circuitos e um computador utilizado para a análise de dados.
- O sistema SPECT (*Single Photon Emission Computed Tomography*) é uma tomografia computadorizada, com emissão de fóton único, para aquisição de imagens fisiológicas em 3D obtidas pelo sistema de detecção baseado na gama câmara.
- As imagens obtidas através da injeção da substância radioativa no paciente são planas, e os cortes tomográficos são transaxiais. Essas imagens fisiológicas são importantes para um diagnóstico médico completo.
- Os exames com o SPECT são utilizados, rotineiramente, para detectar problemas cardíacos, esqueléticos e gastrointestinais, através de imagens fisiológicas a partir das quais os médicos avaliam a função dos órgãos estudados.
- O equipamento PET/CT é uma tomografia por emissão de pósitrons (PET) agregada à tomografia computadorizada (TC) no *gantry*. Esse equipamento detecta alterações a nível celular, fazendo com que diagnósticos precoces sejam dados em relação às doenças.
- No *gantry* do equipamento PET/CT, as primeiras imagens geradas são anatômicas, pela tomografia computadorizada, e as segundas são fisiológicas, geradas pela PET.

- O tecnólogo em radiologia, que atua na Medicina Nuclear, deve perceber se os equipamentos estão funcionando corretamente ou não, e se constatar que o equipamento não está funcionando corretamente, deve, imediatamente, acionar a engenharia clínica do centro de diagnósticos em Medicina Nuclear para tomar as providências necessárias para o conserto do equipamento.
- O tecnólogo em radiologia também deve ser cordial com os pacientes, ficar sempre atento ao conforto no momento dos exames de cintilografia e, de nenhuma forma, mencionar qualquer tipo de informação obtido no exame.
- É importante o serviço de Medicina Nuclear ter um checklist do funcionamento do equipamento. Esse documento deve ser realizado por escrito, pelo próprio tecnólogo em radiologia, que atua diretamente com o equipamento.
- Como a demanda do serviço de Medicina Nuclear não para, e os pacientes precisam de diagnósticos rápidos, defeitos apresentados nos equipamentos devem ser imediatamente sanados.
- O controle de qualidade dos equipamentos utilizados para gerar imagens na Medicina Nuclear deve seguir as normas vigentes, por exemplo, a norma CNEN 3.05.
- No caso de equipamentos PET ou híbrido PET/CT, os algoritmos NEMA (*National Equipment Manufacturers Association*), utilizados no controle de qualidade dos sistemas de detecção de pósitrons, devem ser fornecidos pelos fabricantes dos equipamentos (CNEN 3.05).
- O anexo III, da norma 3.05, da CNEN, cita os testes que devem ser realizados em equipamentos com câmara cintilográficas, como a gama câmara e o SPECT.

AUTOATIVIDADE



1 A radiação emitida é captada por um equipamento chamado de gama câmara (câmara de cintilação). Ocorre um fenômeno, nesse equipamento, para captar a radiação, inclusive, os exames de Medicina Nuclear são chamados de cintilografia por causa desse fenômeno. Podemos dizer que a parte do equipamento que causa esse fenômeno é:

- a) Cristais de cintilação.
- b) *Gantry*.
- c) Bobina.
- d) PET.
- e) Mesa de exames.

2 Uma tomografia computadorizada, com emissão de fóton único, é uma tecnologia empregada que ganhou mais destaque na aquisição de imagens, por trazer imagens anatômicas obtidas pela tomografia computadorizada, além de fisiológicas, obtidas pelo sistema de detecção da gama câmara. Podemos dizer que esse equipamento é:

- I- SPECT.
- II- PET/SPECT.
- III- PET/CT
- IV- Gama câmara.
- IV- Cintilografia.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a I está correta.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas a III está correta.
- d) Todas estão corretas.

3 Descreva quais são os principais componentes presentes no *gantry* de um equipamento PET/CT.

4 Cite alguns cuidados que o tecnólogo em radiologia deve ter com os equipamentos e o paciente no serviço de medicina nuclear.

EXAMES REALIZADOS NESTA MODALIDADE

1 INTRODUÇÃO

Prezado acadêmico, como vimos em tópicos anteriores, a medicina nuclear é um método de diagnóstico que utiliza radionuclídeos não selados que são utilizados para geração de imagens diagnósticas ou para efeitos terapêuticos em pacientes.

Os exames de Medicina Nuclear são muito utilizados porque demonstram a função fisiológica do órgão estudado e a parte anatômica, se foram utilizados equipamentos híbridos para o estudo. Nos exames, quem emite radiação é o paciente, através da administração do radionuclídeo ou do radiofármaco pelas vias oral, inalatória, endovenosa, intratecal ou intradérmica.

Para que seja gerada a imagem, é realizado um protocolo que deve dizer o tipo de radionuclídeo ou radiofármaco utilizado, além do tempo de formação das imagens a serem obtidas.

As imagens, nos exames de Medicina Nuclear, são geradas de acordo com o aparelho utilizado. As imagens estáticas são geradas através de tipos de contagens obtidas pelas varreduras. As imagens dinâmicas são obtidas através de várias imagens em tempo determinado, como na cintilografia renal dinâmica.

As imagens geradas na SPECT tomografia computadorizada, com emissão de fóton único, são geradas em vários ângulos. Como são imagens axiais, podem ser reconstruídas em 3D.

A PET, que é muito importante para a fusão de imagens, utiliza reconstrução tomográfica. Essa reconstrução é gerada pela captação dos pósitrons emitidos pelo radiofármaco administrado no paciente, que fazem com que raios sejam emitidos pelo paciente e detectados por um colimador eletrônico. Em uma cintilografia óssea, os radiofármacos metilenodisfosfonado, marcado com Tecnécio 99 (^{99m}Tc -MDP), e o fluoreto- ^{18}F (^{18}F -NaF), podem ser utilizados para diagnóstico de áreas específicas da estrutura óssea do corpo, já que o padrão de distribuição desses dois radiofármacos é muito parecido (CAMARGO, 2015).

Acadêmico, a partir de agora, veremos os tipos de exames que são realizados na Medicina Nuclear, e qual a finalidade de cada um deles no diagnóstico médico. Fique atento, pois essa parte é muito importante para o aprendizado.

2 CINTILOGRAFIA ÓSSEA

A cintilografia óssea é um exame realizado para detectar alterações no sistema esquelético, como patologias osteoarticulares, fraturas, problemas metabólicos e metástases ósseas, através do uso de radiofármacos, como o metilenodisfosfonado, marcado com Tecnécio 99, e o fluoreto-¹⁸F (MORAES, 2007). A captação do ⁹⁹mTc-MDP é realizada na fase mineral óssea, que é determinada pela atividade osteometabólica. O ¹⁸F-NaF é captado na hidroxiapatita do osso, tendo uma captação duas vezes melhor pelo osso do que o ⁹⁹mTc-MDP, devido ao clareamento plasmático mais rápido e ao uso associado às imagens de tomografia, que aumentam a especificidade.

Após a administração intravenosa do radiofármaco ⁹⁹mTc-MDP, com dose de 20 a 30 mCi, o paciente é instruído a beber cerca de um litro de água para se manter hidratado. Essa informação é dada ao paciente para que a excreção do radiofármaco seja realizada pela urina, sendo importante o paciente esvaziar a bexiga antes do exame.

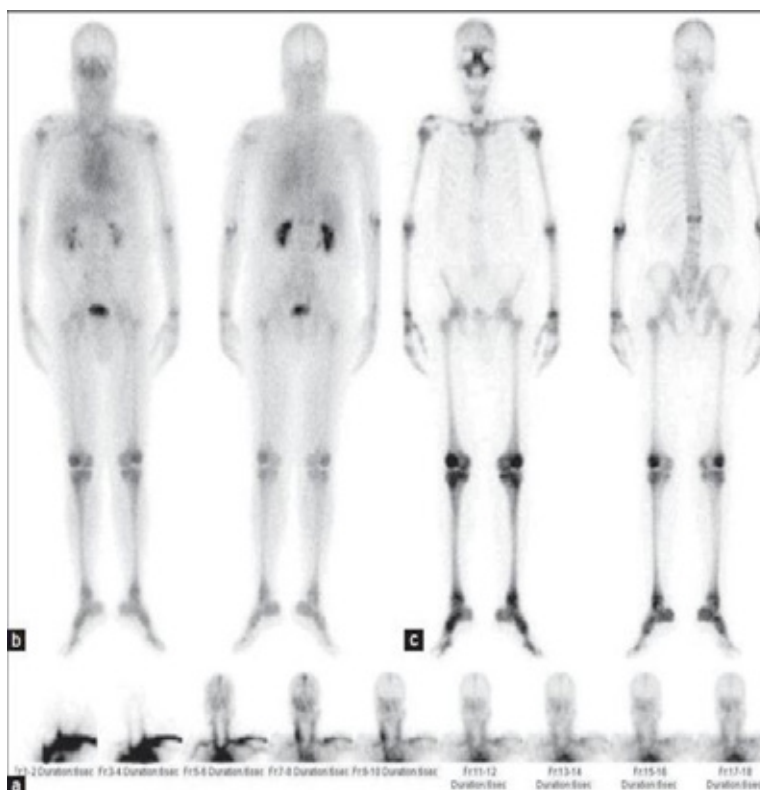
As imagens são adquiridas de duas a três horas após a administração do radiofármaco e, no intervalo, ocorrem micções, e o profissional de Medicina Nuclear deve estar atento à contaminação pela urina radioativa. Imagens obtidas entre duas a três horas são chamadas de fase metabólica ou tardia. A fase de equilíbrio começa após a administração do radiofármaco ⁹⁹mTc-MDP para obter imagens teciduais localizadas. Também podem ser realizadas imagens sequenciais em segundos, durante o período de um minuto na fase de fluxo sanguíneo. Essas imagens são realizadas para ver a progressão do radiofármaco no corpo.

Para o exame no equipamento, o paciente deve estar posicionado em decúbito dorsal na mesa de exames e, de início, é realizada uma varredura de corpo inteiro com imagens localizadas (scan e spots).

O equipamento SPECT, ou qualquer outro, deve ser utilizado com critério médico. As imagens são obtidas 60 minutos após a administração do radiofármaco ¹⁸F-NaF. A administração é intravenosa, variando entre 5 a 10 mCi, de 184 a 369 MBq. As imagens de corpo inteiro podem ser realizadas em cerca de um minuto, com 14 cm de espessura entre os cortes.

Agora, veremos uma figura do exame de cintilografia óssea de corpo inteiro, com ⁹⁹mTc-MDP. A descrição da figura aborda o fluxo do radiofármaco ⁹⁹mTc-MDP e as fases.

FIGURA 6 – CINTILOGRAFIA ÓSSEA

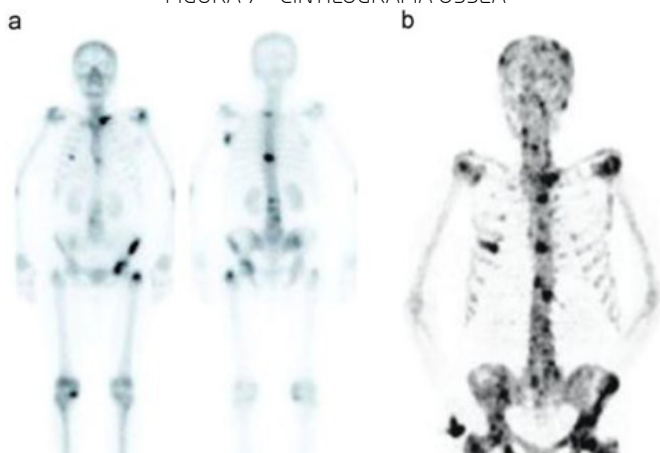


FONTE: <<https://bit.ly/3yJH9kl>>. Acesso em: 15 fev. 2020.

(a) A fase de fluxo de varredura óssea do ^{99m}Tc -MDP mostra o aumento do fluxo sanguíneo para as regiões orbitais bilaterais (direita > esquerda). (b) A fase de varredura óssea do tecido mole do ^{99m}Tc -MDP mostra a atividade aumentada nas regiões orbitais/infraorbitais bilaterais (direita > esquerda). Também é visto o aumento da atividade na região da vértebra L1 em um padrão horizontal linear. Aumento leve na atividade é notado, difusamente, no esqueleto axial e apendicular. (c) As imagens anteriores e posteriores do corpo inteiro, anterior e posterior da fase de varredura óssea tardia do ^{99m}Tc -MDP, mostram captação difusamente aumentada do traçador no esqueleto com alto contraste entre osso e tecido mole e rins mal visualizados. Também é observada intensa captação do traçador em órbitas bilaterais (especialmente, paredes inferiores e mediais), em ossos nasais e em parte medial da maxila bilateral. O esqueleto apendicular revela absorção geral aumentada. A vértebra L1 mostra uma captação horizontal linear aumentada, devido à compressão/colapso osteoporótico.

A seguir, apresentaremos, em (a), um grande número de lesões na cintilografia óssea de corpo inteiro, no estudo com ^{18}F -NaF, com a PET/CT, e, em (b), com ^{99m}Tc -MDP.

FIGURA 7 – CINTILOGRAFIA ÓSSEA



FONTE: <<https://bit.ly/3Ayoauz>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

Esse exame de cintilografia óssea é de um paciente portador de um Linfoma Não-Hodgkin. O Linfoma Não-Hodgkin é um tipo de câncer que pode comprometer os ossos, como vemos nas imagens do exame de cintilografia óssea. Quando primário, o Linfoma Não-Hodgkin se apresenta como uma massa óssea. Esse tipo de câncer nos ossos é raro, correspondendo a 1% dos Linfomas Não-Hodgkin. Os ossos mais envolvidos são pelve e fêmur, além do úmero, vértebras e outros ossos.

3 CINTILOGRAFIA PULMONAR

A cintilografia pulmonar é um exame que busca detectar anormalidades na perfusão, na ventilação e na permeabilidade epitelial pulmonar. Uma das principais indicações clínicas da cintilografia pulmonar é a tromboembolia pulmonar (HORONAKA *et al.*, 2017).

3.1 CINTILOGRAFIA PULMONAR DE VENTILAÇÃO/INALAÇÃO

Essa cintilografia de ventilação ou inalação pulmonar é realizada após a localização de radiotraçadores na árvore brônquica. Esses radiotraçadores podem ser radioaerossóis. Os aerossóis são constituídos de dietilenotriaminopentacético, marcado com tecnécio-99m (^{99m}Tc -DTPA). Esse radiofármaco é colocado dentro do nebulizador para misturar com oxigênio (H), permitindo o estudo apenas da inalação. É importante considerar o tipo de nebulizador apropriado para o estudo, já que deve ser utilizado um radiofármaco (MORAES, 2007).

O ^{99m}Tc -DTPA se distribui nas vias aéreas, retendo-se na árvore brônquica, clareando os cílios do epitélio respiratório. Esse radiofármaco é facilmente excretado pela urina. Na maioria dos serviços de medicina nuclear, o estudo de perfusão vem logo após o de ventilação ou o de inalação. A cintilografia de perfusão avalia todo fluxo sanguíneo em todo pulmão.

Caro acadêmico, é importante você saber que, para realizar uma cintilografia de perfusão pulmonar, é realizado um protocolo. Agora, veremos como é feito o exame através desse protocolo.

A nebulização do radiofármaco pode acontecer em sala apropriada, sendo importante o paciente permanecer sozinho. O paciente deve fazer hidratação após a nebulização com o radiofármaco ^{99m}Tc -DTPA.

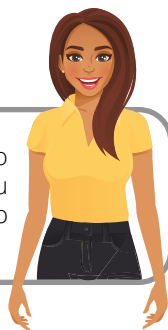
O tecnólogo em radiologia pode entrar na sala quando quiser, sem necessidade de seguir restrições dosimétricas. É necessário que a sala tenha exaustores para o ar externo.

A dosagem do radiofármaco em pacientes adultos pode ser de 20 a 30 mCi, diluída em solução salina ou água destilada. A inalação pode durar de 5 a 15 minutos, dependendo da solicitação médica. É importante lembrar o paciente de que ele deve inalar o mais forte que conseguir. Após a inalação, o paciente é levado para a sala de exames. A aquisição das imagens é realizada logo após a inalação do radiofármaco, com o uso do colimador em alta resolução.

As incidências realizadas para obter as imagens são feitas com o paciente em decúbito dorsal. Em seguida, são realizadas imagens spots (localizadas) em Anterior/Posterior (AP), Posterior/Anterior (PA), Obliqua Anterior Direita (OAD), Obliqua Posterior Direita (OPE), Obliqua Anterior Esquerda (OAE), Obliqua Posterior Esquerda (OPE), perfil direito e perfil esquerdo.

NOTA

A distribuição do ^{99m}Tc -DTPA ocorre proporcional à inalação realizada pelo paciente submetido ao exame de cintilografia pulmonar por ventilação ou inalação. Então, o radiofármaco também é encontrado na boca, na traqueia, no esôfago e no estômago.



3.2 CINTILOGRAFIA PULMONAR DE PERFUSÃO

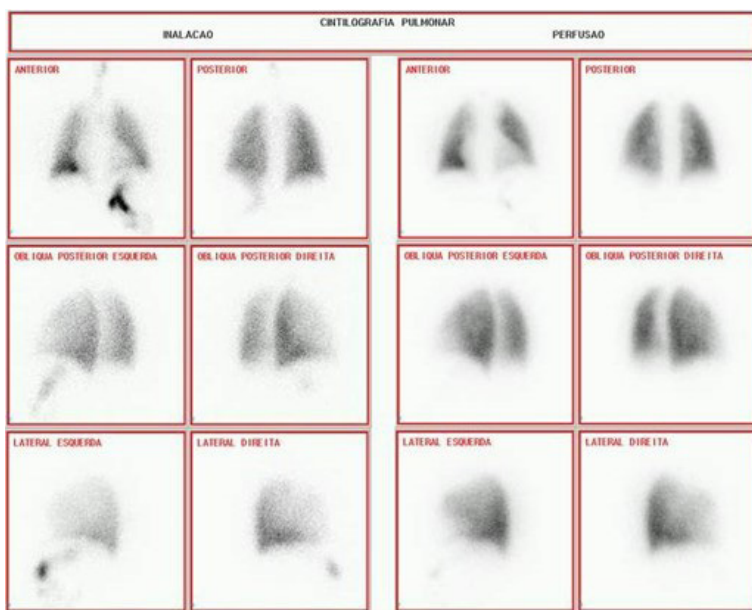
Após a obtenção das imagens pulmonares por inalação, o paciente deve permanecer em decúbito dorsal para o exame de perfusão pulmonar. No exame de cintilografia pulmonar por perfusão, é administrado, por via intravenosa, o radiofármaco macroagregado de albumina humana, marcado com tecnécio- 99m (^{99m}Tc -MAA).

A dose média de administração do radiofármaco ^{99m}Tc -MAA em adultos é entre 111 a 185 MBq, de 3 a 5 mCi. Antes de ser administrado o radiofármaco via intravenosa, é importante agitar suavemente a seringa, que contém o radiofármaco. Deve-se evitar aspirar sangue na seringa para prevenir coágulos. As imagens devem ser iniciadas logo após a administração do ^{99m}Tc -MAA.

A injeção deve ser feita de forma lenta, pedindo que o paciente vá respirando de forma profunda. Isso faz com que sejam obtidas excelentes imagens. As incidências realizadas são em spots (localizadas) em Anterior/Posterior (AP), Posterior/Anterior (PA), Oblíqua Anterior Direita (OAD), Oblíqua Posterior Direita (OPE), Oblíqua Anterior Esquerda (OAE), Oblíqua Posterior Esquerda (OPE), perfil direito e perfil esquerdo, com 700.000 mil contagens em todas as projeções, com o colimador em alta resolução, respeitando sete minutos por projeção.

A seguir, mostraremos os exames de inalação e de perfusão normais com a distribuição homogênea dos radiofármacos nos pulmões.

FIGURA 8 – CINTILOGRAFIAS DE INALAÇÃO E DE PERFUSÃO PULMONAR



FONTE: <<https://www.dimen.com.br/medicina-nuclear/cintilografia-pulmonar/>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

4 CINTILOGRAFIA DO SISTEMA CARDIOVASCULAR

As cintilografias realizadas no sistema cardiovascular estão associadas à ergometria ou ao estresse farmacológico. Por ser um exame sensível para detectar a isquemia do miocárdio, é indicado o diagnóstico para pacientes coronariopatas em tratamento (MORAES, 2007).

Agora, veremos os tipos de cintilografias realizados no sistema cardiovascular e quais são os protocolos.

4.1 CINTILOGRAFIA DE PERFUSÃO MIOCÁRDICA COM TÁLIO

Para o exame de perfusão miocárdica, é utilizado o radiofármaco cloreto de Tálcio-201 (^{201}Tl), a dose utilizada é de 3 a 4 mCi (111 a 148 MBq) por via intravenosa. Sempre, antes do exame, é importante solicitar, ao paciente, que esteja em jejum de quatro horas. Como a dose total chega ao miocárdio de 3% a 5% em 10 minutos, a aquisição das imagens deve ser realizada a partir de 10 minutos da administração do radiofármaco ^{201}Tl por via intravenosa.

Como o exame é realizado em estresse (teste ergométrico), o paciente deve fazer esforço durante os 10 minutos após a administração do ^{201}Tl e, em seguida, obter a imagem. Quando o paciente não pode, por algum motivo, realizar o teste de esforço físico na esteira, é necessário provocar um estresse farmacológico com dipiridamol ou dobutamina, sempre com acompanhamento médico.

No teste de repouso, o paciente deve realizar as imagens após duas a quatro horas depois da administração do radiofármaco ^{201}Tl , e após a obtenção das imagens no teste de esforço físico.

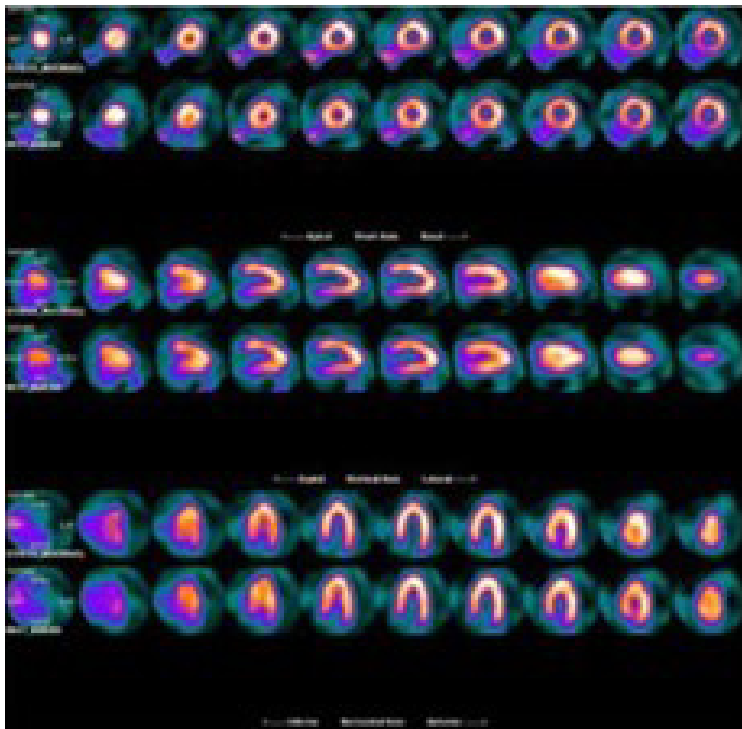
As incidências realizadas nos testes de esforço e de repouso são Anterior/Posterior (AP), Oblíqua Anterior Esquerda (OAE) e lateral esquerda (HORONAKA *et al.*, 2017).

O posicionamento do paciente para as incidências pode ser em decúbito dorsal ou lateral, na aquisição plana, com os braços elevados. No SPECT, o paciente é posicionado em decúbito dorsal com os braços elevados. O exame não é realizado com braços abaixados porque pode minimizar alterações perfusionais.

As reconstruções das imagens são em eixo curto (coronal), eixo longo horizontal (transaxial) e eixo longo vertical (sagital).

A seguir, mostraremos figuras da cintilografia do miocárdio, usando o ^{201}Tl em testes de esforço e de repouso.

FIGURA 9 – CINTILOGRAFIA DO MIOCÁRDIO EM TESTES DE ESFORÇO E DE REPOUSO



FONTE: <<https://bit.ly/3agVfk1>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

4.2 CINTILOGRAFIA DO MIOCÁRDIO COM MIBI

Esse exame pode ser realizado em esforço ou em repouso, como o exame do miocárdio com tálio-201, sendo que o exame do miocárdio com MIBI utiliza outro radiofármaco, chamado de sestamibi (MIBI), associado ao ^{99m}Tc . A principal função desse exame é avaliar o fluxo sanguíneo do miocárdio.

O exame é realizado com o equipamento SPECT com um a três detectores, pelo motivo de permitir a avaliação simultânea da função do ventrículo esquerdo sincronizada ao ECG (*gated* SPECT). A cintilografia do miocárdio com MIBI é indicada quando exames simples forem realizados sem definição diagnóstica suficiente.

Segundo Horonaka *et al.* (2017), existem softwares para processamento do *gated* SPECT, que avaliam, quantitativamente, a função ventricular para obter parâmetros precisos, como fração de ejeção e volumes sistólicos e diastólicos. Os softwares mais utilizados são o QGS (*Quantitative Gated SPET – Cedars Sinai*) e o ECTb (*Emory Cardiac Toolbox – Emory University*)

É importante que, antes do exame, o paciente tenha feito uma dieta leve. O radiofármaco ^{99m}Tc -MIBI é administrado por via intravenosa em ambos os testes de esforço e de repouso.

No teste de esforço, a aquisição das imagens deve ser realizada de 15 a 60 minutos após a administração do radiofármaco ^{99m}Tc -MIBI. No teste de repouso, a aquisição das imagens deve ser realizada de 45 a 90 minutos. Quando o paciente está incapacitado de realizar o teste de esforço, as imagens, por estresse farmacológico, devem ser realizadas após 60 minutos.

NOTA

Os testes de esforço e de repouso para avaliação do miocárdio podem ser realizados em um protocolo ou em dois protocolos, em dias diferentes. Dividir os dias dos testes depende de cada serviço da Medicina Nuclear. Geralmente, pacientes obesos costumam fazer os exames em dois dias.

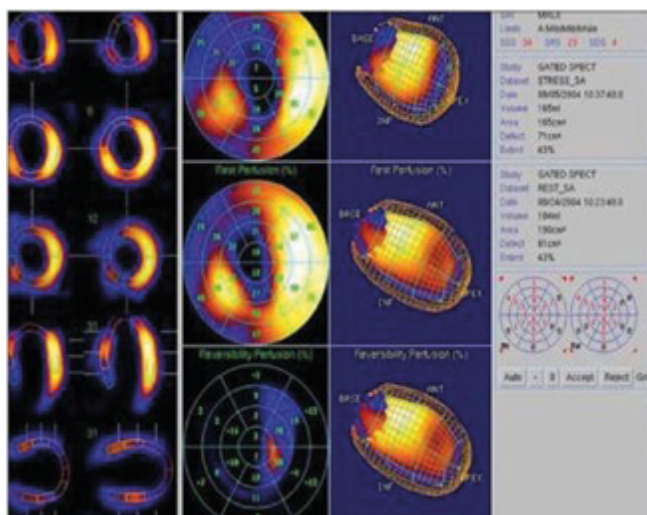


A dosagem do radiofármaco ^{99m}Tc -MIBI utilizada no exame, geralmente, é de 10 mCi (repouso) e 30 mCi (esforço). O colimador utilizado é o de alta resolução. As incidências realizadas no SPECT são um estudo tomográfico em 180°, girando 45° em Oblíqua Anterior Direita (OAD), e Oblíqua Posterior Esquerda (OPE) em 135°, com 800.000 contagens.

Deve-se sempre considerar movimentos que ocorram durante os exames e, por esse motivo, programas de correção de movimentos podem ser utilizados, mas não se deve descartar a necessidade de repetição de exames.

As reconstruções de imagem do ventrículo esquerdo podem ser realizadas nos planos axiais, sagitais e coronais. Na documentação final, costuma-se dispor as imagens adquiridas em dois estudos, estresse e repouso, de modo a estarem mais pareados possíveis.

FIGURA 10 – GATED SPECT DO MIOCÁRDIO



FONTE: <http://www.rb.org.br/detalhe_artigo.asp?id=1997&idioma=Portugues>. Acesso em: 19 fev. 2020.

Na figura anterior, da esquerda para a direita: imagens do coração no fim da sístole e diástole, para avaliação do espessamento sistólico; mapas polares da perfusão para análise da reversibilidade perfusional; representação tridimensional do coração com delimitação do epicárdio e do endocárdio para visualização da motilidade parietal; valores de fração de ejeção; volumes diastólico e sistólico finais; e representação esquemática da quantificação dos parâmetros funcionais dos 20 segmentos miocárdicos do ventrículo esquerdo.

5 CINTILOGRAFIA GASTROINTESTINAL

A cintilografia gastrointestinal é utilizada para a pesquisa do refluxo gastroesofágico (RGE). O radiofármaco utilizado é o enxofre coloidal, marcado com tecnécio 99 (^{99m}Tc -coloide). O enxofre coloidal é utilizado porque permanece na luz do órgão avaliado, tem baixo custo e é de fácil administração, além de preparação, permitindo uma boa qualidade da imagem.

Para o preparo do exame, é solicitado, ao paciente, um jejum de quatro a seis horas, quatro horas para crianças e seis horas para adultos. Outra solicitação é pedir, ao paciente, que interrompa algum medicamento que possa ser suspenso para realização da cintilografia do refluxo gastroesofágico, isso porque alguns medicamentos podem interferir na motilidade do esôfago.

A dosagem do ^{99m}Tc -coloide pode ser de 0,3 a 1 mCi, diluído em água, suco ou leite, na quantidade de 10 a 20 ml, deglutida pelo paciente examinado.

As aquisições devem ser realizadas logo após a administração do radiofármaco ^{99m}Tc -coloide. A posição que o paciente deve estar é a de trendelemburg, ou Oblíqua Anterior Esquerda (OAE), por questão de riscos de complicações respiratórias, como aspiração pelos pulmões.

O colimador utilizado é o de alta resolução, com detector centralizado no tórax, da boca até o fundo gástrico, com matriz da imagem de 128 x 128. As imagens devem ser obtidas no intervalo de 15s cada, por 20, 30 e 60 minutos. Também pode ser realizada uma imagem tardia de três a cinco horas após o exame, para observar se houve aspiração pulmonar.

NOTA

O exame, para ver se houve aspiração pulmonar, é solicitado a critério médico, e, também, pode ser dispensado a critério do médico solicitante.



6 CINTILOGRAFIA DO TRÂNSITO ESOFÁGICO

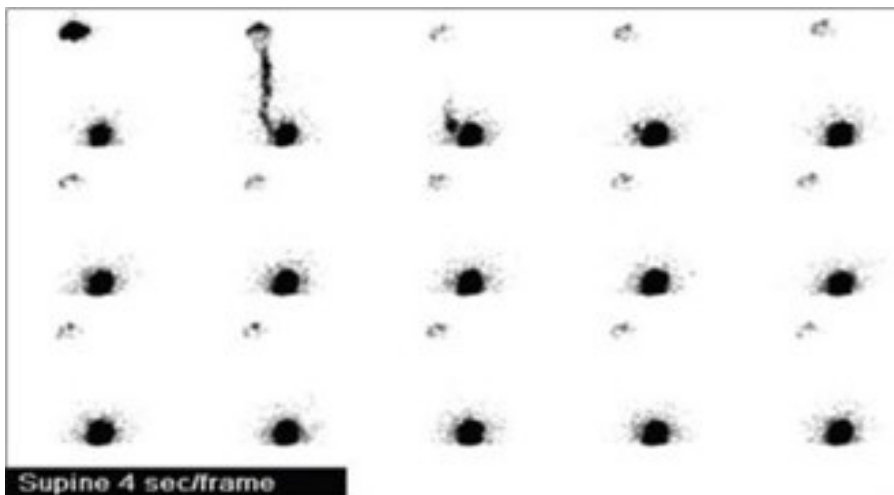
O radiofármaco utilizado é o enxofre coloidal, marcado com tecnécio 99 (^{99m}Tc -coloide). Esse radiofármaco é o mais utilizado pela facilidade de administração e pela obtenção de uma boa qualidade de imagem. A dose de radiação que o paciente leva nesse exame é mínima.

Para o exame de cintilografia do trânsito esofágico, o paciente deve estar em jejum de quatro a seis horas. A dose do ^{99m}Tc -coloide deve ser entre 0,3 a 0,5 mCi, diluída em leite. Alguns serviços de Medicina Nuclear, antes do exame, solicitam que o paciente tome água para praticar o gole (deglutição). O posicionamento do paciente pode ser supina, sentado ou em pé, pois isso depende muito do serviço de Medicina Nuclear.

A matriz da imagem pode ser 65 x 65, e o detector deve estar centralizado no tórax, incluindo a boca e o fundo do esôfago. As sequências das imagens podem ser em 0,27s por 0,7 minutos, seguidas de sequências a cada 0,9 segundos por 1 minuto. As imagens devem ser obtidas assim que o paciente fizer a deglutição do radiofármaco.

A seguir, mostraremos o exame de cintilografia do trânsito esofágico com o radiofármaco enxofre coloidal, marcado com tecnécio 99 (^{99m}Tc -coloide).

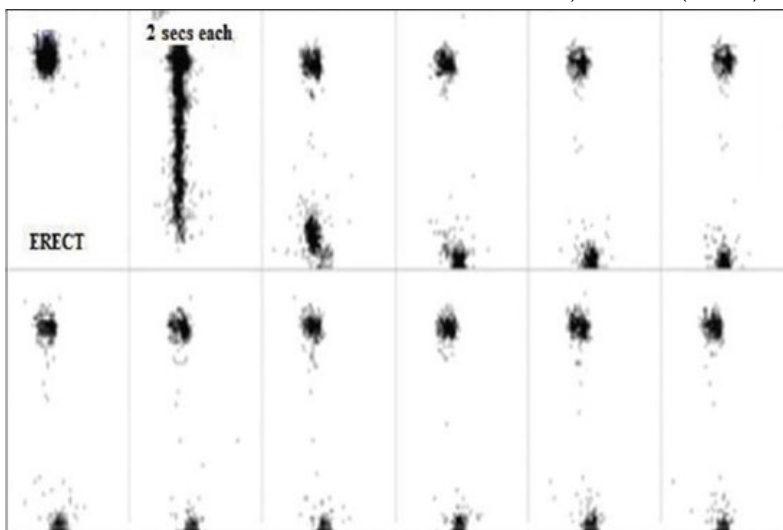
FIGURA 11 – TRÂNSITO ESOFÁGICO NORMAL EM POSIÇÃO SUPINA



FONTE: <<https://bit.ly/3yld49j>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

Segue o trânsito esofágico normal, de posição em pé (ereta). Cada figura foi obtida em dois segundos após a deglutição pelo paciente.

FIGURA 12 – TRÂNSITO ESOFÁGICO NORMAL DE POSIÇÃO EM PÉ (ERETA)



FONTE: <<https://bit.ly/3bwWdlQ>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

7 CINTILOGRAFIA DAS GLÂNDULAS SALIVARES

Para essa cintilografia, é utilizado o pertecnetato de sódio, marcado com o tecnécio 99 ($\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$), que é captado pelas glândulas salivares e secretado pelo epitélio ductal. A administração é feita por via intravenosa, e as primeiras imagens para observar o acúmulo do material radioativo e, em seguida, a drenagem das glândulas salivares.

As imagens, como mencionado no parágrafo anterior, são adquiridas no acúmulo do material radioativo e na drenagem realizada pelas glândulas salivares após um estímulo com suco ácido de limão.

O estudo é útil para a avaliação de processos patológicos das glândulas salivares, levando sempre em consideração a permeabilidade dos ductos de drenagem das glândulas.

Importante, antes do início da cintilografia, o jejum: se for para crianças, de quatro horas, se for para adultos, de oito horas. A dosagem, geralmente, é de 5 a 10 mCi (185 a 370 MBq), sendo, a dosagem correta, administrada na criança ou no adulto.

O colimador utilizado é o de alta resolução, ou seja, o melhor existente no equipamento. Pode ser o LEAP ou o HR, com fotopico de 140 Kev, janela de 15% e matriz de 128x128.

A aquisição das imagens pode ser iniciada logo após 15 minutos da administração do radiofármaco $\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ pela via intravenosa. Para entrada do suco de limão (ácido) na boca do paciente, pode ser colocada uma cânula fina pela bochecha do paciente, que fique na região sublingual, para inserir o suco e para descartar qualquer artefato de movimento que possa surgir.

Após o estímulo com o limão, é preciso realizar novamente as incidências Anterior/Posterior (AP), Lateral Direito (LD) e Lateral Esquerdo (LE).

8 CINTILOGRAFIA DE PERFUSÃO CEREBRAL

Existem dois fármacos utilizados na cintilografia de perfusão cerebral, o dicloridrato de etilenocisteinadietiléster (ECD) ou o hexametilpropilenoaminooxina (HMPAO). Esses fármacos são lipofílicos. Para o exame de cintilografia de perfusão cerebral, esses fármacos são marcados com tecnécio ^{99m}Tc . O radiofármaco se distribui com o fluxo sanguíneo cerebral atravessando a barreira hematoencefálica, distribuindo-se e permanecendo entre os neurônios do córtex cerebral.

A permanência do radiofármaco nos neurônios do córtex, em determinado tempo, permite a aquisição de imagens pela Medicina Nuclear, permitindo a avaliação de estados na avaliação cerebral. A captação cerebral do radiofármaco injetado fica entre 4% a 8%, e a outra parte é distribuída pelo corpo, principalmente, entre ossos, músculos e intestinos. Em 48 horas, 50% do radiofármaco é eliminado pela urina.

Os estudos de perfusão cerebral são realizados pela SPECT e não é necessário preparo prévio do paciente. Podem ser utilizados os dois radiofármacos citados no primeiro parágrafo, marcados com tecnécio 99 . A imagem pode ser adquirida com matriz de 128×128 , e esse tamanho depende muito da parte cerebral que o médico desejar avaliar.

A contagem para aquisição de cada imagem pode ser em torno de 78.000, com fotopico em 150 Kev, preservando, sempre, uma janela de 16%. Sendo isso possível, é bom ter, como escolha, o colimador *fan beam*, ou o colimador de alta resolução.

As imagens devem ser iniciadas 25 minutos após a administração do radiofármaco, com dosagem de 20 mCi para a cintilografia de perfusão cerebral. O posicionamento do paciente deve ser favorável. Para que isso ocorra, os detectores devem estar em contato com a cabeça do paciente.

NOTA

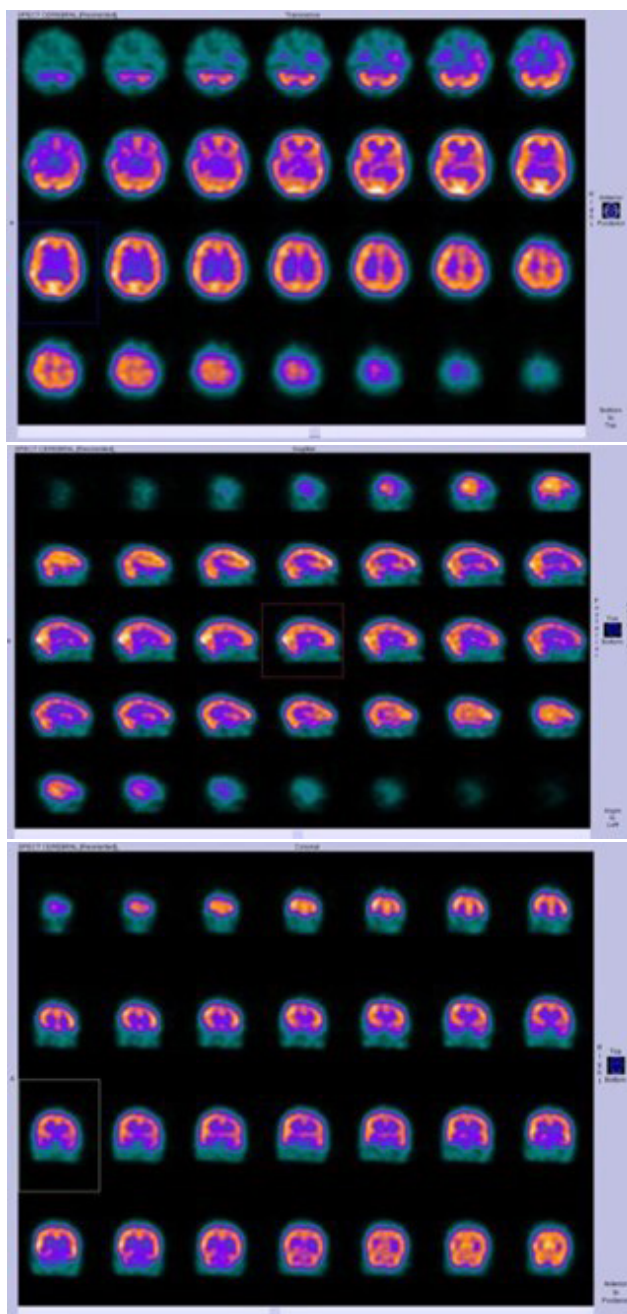
Cada frequência de corte do equipamento depende do SPECT utilizado. Se o equipamento for antigo, a frequência do corte é mais demorada. Se for mais novo, a frequência do corte é bem mais rápida. Tudo depende do equipamento utilizado.



As reconstruções das imagens podem ser feitas em cortes axiais, sagitais e coronais. Também pode ser utilizado filtro, que permite a retirada de artefatos de movimentos que podem ter existido no momento da obtenção das imagens.

Segue um exame de cintilografia de perfusão cerebral com o radiofármaco ^{99m}Tc -ECD em cortes tomográficos axial, sagital e coronal.

FIGURA 13 – CINTILOGRAFIA DE PERFUSÃO CEREBRAL COM SPECT



FONTE: <<https://radiopaedia.org/cases/normal-brain-perfusion-spect>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

9 CISTERNOCINTILOGRAFIA

A cisternocintilografia é um exame de cintilografia para avaliação dos espaços liquóricos (liquor), muito utilizado para acompanhamento da hidrocefalia e avaliação da fístula liquórica. O radiofármaco ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA), marcado com tecnécio 99, é utilizado.

O radiofármaco ^{99m}Tc -DTPA é administrado por via intratecal, ou seja, através da punção lombar ou suboccipital. Esse radiofármaco é utilizado por apresentar propriedade importante, como não ser metabolizado pelo líquido cefarrolaquiano. O ^{99m}Tc -DTPA tem baixa dosimetria, meia vida curta e excelentes qualidades na imagem (CAMARGO, 2015).

A dose, habitualmente utilizada, é de 5 a 10 mCi (190 a 375 MBq), e não é necessário preparo prévio do paciente. O colimador utilizado pode ser o LEAP, ou de alta resolução, com 150 KeV e janela de 15%. As imagens são adquiridas em tempos de 1, 2, 3, 6 e 24 horas após a administração do radiofármaco por via intratecal. O paciente deve estar em decúbito dorsal com a cabeça um pouco fletida.

As incidências e as imagens adquiridas devem ser obtidas em Anterior/Posterior (AP), Laterais Direita e Esquerda do crânio (LD/LE) e posteriores do abdômen e do tórax, para avaliar a medula espinhal, com 100.00 contagens para cada projeção.

10 CINTILOGRAFIA DA TIREOIDE

Trata-se de um exame de cintilografia (imagem) da glândula tireoide. Os estudos da tireoide estimularam o desenvolvimento da Medicina Nuclear. Hoje em dia, podem ser realizados exames e o tratamento da glândula tireoide. A cintilografia da glândula é feita para avaliar a forma, o tamanho, o estado e o funcionamento, além de detectar nódulos.

Os radiofármacos, utilizados em exames e em tratamentos, são o iodo 131 e o iodo 123, marcados com tecnécio 99. O iodo é utilizado porque é fabricado pela glândula tireoide, sendo agregado, com mais rapidez, pela glândula.

O iodo 123 (^{123}I) é preferido por ter meia vida curta, de 13,2 horas, energia mais adequada ao equipamento utilizado e baixa taxa de absorção pela glândula tireoide, mas tem disponibilidade comercial muito reduzida e alto custo. Isso faz com que caia em desuso pelos serviços da Medicina Nuclear.

O iodo 131 (^{131}I) tem meia vida longa de oito dias, grande uso para realização de imagens tardias em 24, 48 e 72 horas, e é excelente para diagnosticar e para detectar evolução do câncer de tireoide.

10.1 CINTILOGRAFIA DA TIREOIDE COM IODO 131

O paciente, para realizar esse exame, não pode ter feito alimentação rica em iodo, nem ter usado medicação que interfira no funcionamento da glândula tireoide. É necessário, para a realização do exame, jejum de seis a oito horas. O radiofármaco é administrado por via oral e a aquisição da imagem deve começar duas horas após a administração. Também se faz necessário realizar outra aquisição de imagem após as 24 horas.

A dosagem de ^{131}I , que deve ser administrada no paciente, para a realização desse exame, é de 100 a 300 mCi. O colimador utilizado deve ser de alta energia. São realizadas imagens estáticas com 600 mil contagens nas projeções Anterior/Posterior (AP), Oblíqua Anterior Direita (OAD) e Oblíqua Anterior Esquerda (OAE).

10.2 CINTILOGRAFIA DA TIREOIDE COM IODO 123

O paciente deve, antes do exame, não consumir nenhum alimento rico em iodo. Também é necessário não fazer administração de nenhum medicamento que interfira no funcionamento da tireoide.

O paciente deve fazer jejum de seis a oito horas, assim que administrado o radiofármaco ^{123}I via oral. A captação da imagem só pode ser realizada após as duas horas e, depois, a outra é feita, com 24 horas.

A dosagem do ^{123}I deve ser de 1 a 3 mCi, e a aquisição da imagem deve ser com colimador de alta resolução. As imagens estáticas (spot) são obtidas em projeções Anterior/Posterior (AP), Oblíqua Anterior Direita (OAD) e Oblíqua Anterior Esquerda (OAE), com 500 mil contagens em cada uma das projeções.

NOTA

As cintilografias, com iodios 123 e 131, servem para detectar tumores na glândula tireoide em incidências, em estudos de corpo inteiro e em disfunções, como o hipertireoidismo.



11 CINTILOGRAFIAS PARA INFLAMAÇÕES

As inflamações podem ser detectadas por exames de cintilografia com radiofármaco específico. Além das inflamações, as infecções e os processos neoplásicos podem ser diagnosticados.

11.1 CINTILOGRAFIA COM GÁLIO 67

O gálio 67 (^{67}Ga) é um dos primeiros radiofármacos utilizados para a detecção da inflamação e, geralmente, o uso é bem aceito em equipamentos, como a gama câmara. Em alguns serviços da Medicina Nuclear, é substituído pela tomografia, por emissão dos pósitrons PET e do radiofármaco ^{18}F FDG, por causa da limitação na investigação de processos abdominais. Atualmente, para investigações do tórax, o ^{67}Ga é excelente.

O citrato de gálio (^{67}Ga) tem meia vida de 78 horas, considerada grande em relação a outros radiofármacos utilizados na Medicina Nuclear. A administração deve ser realizada por via intravenosa. O ^{67}Ga se liga à siderofilina na circulação, penetrando nas células que estão ligadas aos processos inflamatórios e neoplásicos.

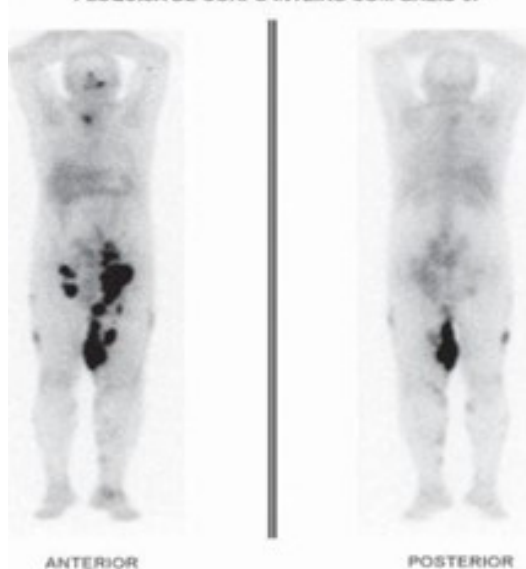
Geralmente, 10 a 25% do ^{67}Ga administrado é excretado pela urina nas primeiras 24 horas. Os outros 78% do ^{67}Ga administrado são retidos nos rins, no fígado e nos tecidos moles nas primeiras 48 horas. Nas 24 horas depois da administração, o acúmulo é visto no sistema gastrointestinal, sistema urinário, glândulas salivares etc. (HORONAKA *et al.*, 2017).

A dosagem administrada é de 3 a 10 mCi, e as aquisições das imagens são realizadas após 24, 48 e 72 horas, após a administração do radiofármaco. Podem ser utilizados colimadores de média e alta energias.

As imagens podem ser obtidas de varreduras de corpo inteiro em Anterior/Posterior (AP) e Posterior/Anterior (PA). Podem ser realizadas imagens no SPECT, se necessário.

Segue a cintilografia com Gálio-67.

FIGURA 14 - CINTILOGRAFIA COM CITRATO DE GÁLIO 67
PESQUISA DE CORPO INTEIRO COM GÁLIO-67



FONTE: <<https://bit.ly/3PaIE1z>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

A cintilografia com ^{67}Ga evidencia o diagnóstico de inflamação nas partes anterior e posterior da coxa esquerda, estendendo-se para a região inguinal-pélvica. Essas imagens foram adquiridas após 48 horas da administração do citrato de gálio 67 , com dose de 296 MBq (8mCi).

11.2 CINTILOGRAFIA DE LEUCÓCITOS MARCADOS

Os leucócitos são compostos pelas seguintes células: neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfócitos e monócitos. A cintilografia dos leucócitos marcados é feita através do radiofármaco hexametilpropilenoaminóxima HMPAO marcado com tecnécio $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO), por causa da sensibilidade em detectar focos infecciosos.

É necessário retirar 60 ml de sangue para marcar, com o radiofármaco, os leucócitos *in vitro*. A dosagem, normalmente, utilizada, é de 12 mCi, com colimador de alta resolução.

A aquisição das imagens deve ser realizada de duas a quatro horas após a administração, por via intravenosa, do sangue do paciente, que foi marcado com $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO *in vitro*. As projeções realizadas devem ser de corpo inteiro em Anterior/Posterior (AP) e Posterior/Anterior (PA).

12 CINTILOGRAFIA DO SISTEMA URINÁRIO

As cintilografias realizadas no sistema urinário servem para avaliar as funções glomerulares, rins, ureteres, vias urinárias e testículos.

12.1 CINTILOGRAFIA RENAL DINÂMICA

Os radiofármacos utilizados na cintilografia renal dinâmica são agentes de filtração glomerular e de secreção tubular, levando sempre em consideração os mecanismos de eliminação.

O radiofármaco utilizado na filtração glomerular é o ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA), marcado com tecnécio $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA). Esse radiofármaco é eliminado pela filtração glomerular, como a insulina, sem ocorrer absorção tubular em, aproximadamente, 95% em 24 horas após a administração.

Para avaliar a secreção tubular, podem ser utilizados os seguintes radiofármacos, EC ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -EC) e MAG $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MAG), todos marcados com tecnécio 99 . Esses radiofármacos são eliminados diretamente pelo fluxo plasmático renal, sendo 20% por filtração glomerular e 80% por secreção tubular. O MAG oferece melhor qualidade de imagem do que o EC, e tem a eliminação de 90% em três horas.

Os radionuclídeos Iodo 123 e Iodo 131 não são tão utilizados na cintilografia renal dinâmica porque necessitam emitir menos doses de radiação (CAMARGO, 2015).

Sempre antes do exame de cintilografia renal dinâmica, é importante que o paciente esteja previamente hidratado. Para que isso ocorra, é importante solicitar, ao paciente, que faça a ingestão de quatro copos de água antes do exame.

O paciente deve esvaziar a bexiga antes para que, no momento do exame, não ocorra necessidade miccional, fazendo com que o estudo seja interrompido.

Para o exame, o paciente deve estar em decúbito dorsal, com o detector ajustado para adquirir imagens entre o abdômen e a pelve, centrado, para a projeção dos rins. As aquisições devem ser realizadas em posterior e em anterior.

O colimador utilizado no estudo deve ser de alta resolução, com janela ajustada para o tecnécio-99m. As aquisições das imagens devem iniciar logo após a administração do radiofármaco por via intravenosa, como dose de 10 mCi.

As incidências realizadas através do fluxo sanguíneo devem ser realizadas com 60 imagens sequenciais, em um a cinco segundos por *frame*. As imagens dinâmicas sequenciais devem ser realizadas com intervalo de 30 segundos por imagem em 30 minutos. O tempo de duração do exame de cintilografia renal dinâmica é de 30 a 50 minutos.

A avaliação das imagens é realizada em linhas sequenciais, por causa do tempo de obtenção de cada imagem no período do estudo. Esse hábito de visualização é bom porque não prejudica o estudo, facilitando a interpretação.

Segundo Horonaka *et al.* (2017), o ROI pode ser utilizado para a avaliação de áreas de interesse na imagem. ROI significa região de interesse e, geralmente, é traçada pelo médico nuclear, de maneira muito cuidadosa, para evitar erros.

12.2 CINTILOGRAFIA RENAL ESTÁTICA

A cintilografia renal estática avalia a forma, o córtex renal e as funções. São utilizados, referencialmente, para essa cintilografia, radiofármacos que apresentam grau de fixação no parênquima cortical renal.

O principal radiofármaco utilizado para a cintilografia renal estática é o (ácido dimercaptossuccínico) DMSA, marcado com tecnécio 99 (^{99m}Tc-DMSA). A concentração do ^{99m}Tc-DMSA se dá, primeiramente, nas células do túbulo proximal renal, sendo que a aquisição das imagens do córtex renal ocorre em torno de duas horas.

A SPECT pode ser utilizada para adquirir as imagens no exame de cintilografia renal estática, principalmente, quando se faz necessária uma imagem plana na projeção posterior com detalhes. Isso é favorável porque, com a alta resolução espacial proporcionada pela SPECT, a detecção de pequenas alterações corticais é evidenciada no estudo.

Para a aquisição das imagens, não é necessário o preparo prévio do paciente. É administrado, por via intravenosa, 6 mCi de ^{99m}Tc -DMSA, e as aquisições das imagens só podem ocorrer duas horas após a administração. Esse tempo de aquisição melhora muito a relação entre o alvo e a atividade de fundo, oferecendo imagens de qualidade para a avaliação renal.

O colimador utilizado no exame deve ser LEAP ou de alta resolução em janela, para tecnécio ^{99m}Tc . As imagens estáticas devem ter 500 mil contagens, com as projeções Anterior/Posterior (AP), Posterior/Anterior (PA), Oblíqua Posterior Direita (OPD) e Oblíqua Posterior Esquerda (OPE). O uso de zoom deve ser utilizado em acordo às condições do paciente que, geralmente, é mais utilizado em pacientes pediátricos.

O processamento das imagens envolve o cálculo da função renal. Esse cálculo é realizado desenhando as áreas de interesse (ROI) para obter a contagem de cada rim e a diferença funcional, além do número de pixel de cada rim na imagem.

NOTA

A aquisição de imagens por contagens é mais favorável porque obtém um melhor detalhamento dos rins.



Segue uma cintilografia renal estática com ^{99m}Tc -DMSA.

FIGURA 15 – CINTILOGRAFIA RENAL ESTÁTICA COM ^{99m}Tc -DMSA



FONTE: <<https://bit.ly/3asbwIX>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

O tamanho da imagem da matriz é de 256 x 256. Na figura, não há nenhuma cicatriz cortical, e o contorno dos rins está normal. O radiofármaco ^{99m}Tc -DMSA é excelente para observar o rim e para detectar alguma anormalidade.

12.3 CISTOCINTILOGRAFIA

A cistocintilografia é utilizada para avaliar as estruturas do sistema excretor urinário para que não ocorra fluxo retrógrado. Para a realização do exame, a bexiga deve estar cheia para ver se ocorre refluxo miccional para os ureteres.

A cintilografia utiliza o radiofármaco ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA), marcado com tecnécio 99 (^{99m}Tc -DTPA). A administração desse radiofármaco é realizada por via intravesical, por cateterismo transuretral.

Essa cintilografia pesquisa o aparecimento do radiofármaco nos ureteres e nas vias urinárias altas, no tempo estipulado. Não é necessário o preparo prévio do paciente, e a dosagem, geralmente, utilizada, é de 1mCi. O colimador pode ser o LEP ou de alta resolução, com janela energética para tecnécio 99m. A aquisição das imagens deve ser feita quando for realizada a administração por via vesical.

Na fase de enchimento, durante o fluxo, a sequência das imagens pode ser feita em três segundos. Durante três minutos, na incidência Posterior/Anterior (PA). Na fase miccional, as imagens sequenciais devem ser feitas dois segundos por, aproximadamente, três minutos, nas incidências Posterior/Anterior (PA).

Pode ser realizada uma imagem após a micção com as mesmas incidências realizadas nas fases de enchimento e miccional, com cerca de 500 mil contagens.

13 CINTILOGRAFIA ESCROTAL

Essa cintilografia é realizada quando existem dor escrotal, varicocele, tumores e epididimites. O radiofármaco é utilizado para detectar a perfusão nos testículos e a inflamação.

Para a cintilografia escrotal, não há preparo prévio do paciente. O radiofármaco utilizado é o pertecnetato de sódio, marcado com tecnécio 99m ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$). Esse radiofármaco é obtido em qualquer clínica de Medicina Nuclear, já que é obtido em um gerador de tecnécio 99m.

A dose utilizada em um adulto é de 16 a 21 mCi. O colimador utilizado pode ser LEP ou de alta resolução. Agora, se o exame for realizado em um paciente pediátrico, a dose é menor cerca de 4 mCi.

A aquisição das imagens é realizada logo após a administração do radiofármaco por via intravenosa. O exame é feito em duas etapas, sendo uma de fluxo e, a outra, de equilíbrio.

Na etapa de fluxo sanguíneo, as imagens são adquiridas a cada cinco segundos por um minuto. Na etapa de equilíbrio, são realizadas após 15 minutos, com 600 a 1.000 contagens.

Segue a cintilografia escrotal com $\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$.

FIGURA 16 - CINTILOGRAFIA ESCROTAL



FONTE: <<https://radiopaedia.org/articles/scrotal-scintigraphy>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

A figura anterior mostrou uma cintilografia escrotal normal realizada em um paciente adulto. Percebe-se o aumento de captação do traçador tecnécio $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Além do $\text{Tc}^{99\text{m}}$, o radiofármaco DTPA pode ser utilizado, mas é comum, nos centros de Medicina Nuclear, utilizar o tecnécio $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

A ultrassonografia é o exame padrão ouro utilizado para detectar anormalidades no escroto, mas havendo um diagnóstico que não está claro, a cintilografia escrotal pode ser utilizada para trazer precisão ao diagnóstico (MORAES, 2007).

NOTA

É importante, na cintilografia escrotal, fixar o pênis no abdômen para evitar sobreposição sobre a bolsa escrotal. As pernas também devem estar afastadas, na hora do exame, para não ficarem sobre a bolsa escrotal.



14 PET EM ONCOLOGIA COM FDG¹⁸

A imagem formada pela tomografia por emissão de pósitrons (PET) oferece imagens satisfatórias com padrões metabólicos in vivo. Por causa disso, a PET se insere na oncologia. Essas imagens metabólicas formadas pela PET são baseadas na administração por via intravenosa de compostos emissores de pósitrons.

A tomografia por emissão de pósitrons utiliza isótopos de meia vida curta e número de massa reduzido, que não interferem na propriedade das moléculas biológicas. Hoje em dia, os equipamentos de PET são acoplados em equipamentos de tomografia computadorizada, formando o PET/CT, que obtém imagens fisiológicas e anatômicas.

Os tumores têm alta captação de fluordesoxiglicose (FDG¹⁸), devido à hiper celularidade, alta taxa de células e aumento de taxa metabólica. A inflamação causada pelas células tumorais também eleva, e muito, a captação pelo FDG¹⁸.

Para o preparo do exame, é importante o paciente não fazer ingestão de glicose, além de comparecer em jejum de, pelo menos, quatro a seis horas. Por esse motivo, aconselha-se o paciente a ter uma dieta pobre em carboidratos. Se o paciente for diabético, é recomendado não utilizar a insulina na manhã do exame.

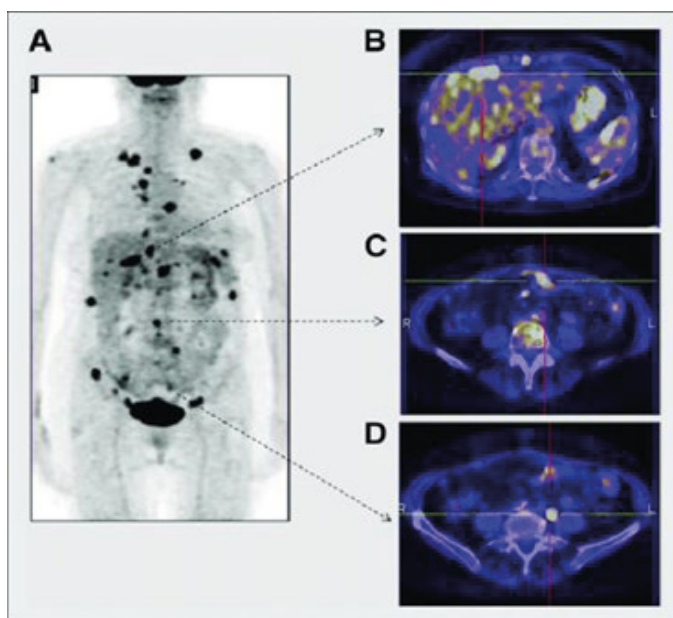
A hidratação é importante para a realização do exame. É necessário solicitar, ao paciente, que esvazie a bexiga antes do exame para não necessitar ir ao banheiro no momento.

A checagem da glicemia é importante antes do exame. Essa glicemia pode ser medida pelo glicosímetro, devendo estar <180mg/dL. A aquisição das imagens pode ser feita de 45 a 90 minutos após a administração do radiofármaco FDG¹⁸, por via intravenosa.

A reconstrução das imagens pode ser realizada pela OSEM, tomografia computadorizada com 120 a 140 Kv, 40 a 120 mA, com espessura de corte de 2 a 5 mm.

Segue uma cintilografia com FDG¹⁸, utilizando a PET/CT.

FIGURA 17 – CINTILOGRAFIA COM FDG¹⁸ PET/CT



FONTE: <<https://bit.ly/3lm3s2l>>. Acesso em: 19 fev. 2021.

A cintilografia mostrada é de um câncer de ovário recorrente, após 10 meses de tratamento com cirurgia e quimioterapia. A imagem (A) significa uma projeção de corpo inteiro, obtida pela PET. A imagem (B) é axial e mostra a captação do radiofármaco FDG¹⁸ no fígado. A imagem (C) é axial do peritônio e a imagem (D) é axial dos linfonodos locoregionais.

As imagens (b), (c) e (d) são obtidas pela tomografia computadorizada. O equipamento PET/CT é excelente para obter informações de tumores que não são vistos com exames únicos, como a tomografia ou a ressonância.

DICA

Para conhecimento do tema, leia https://diretrizesoncologicas.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Diretrizes-oncol%C3%B3gicas-2_Parte36.pdf.



RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu:

- As imagens geradas na SPECT, tomografia computadorizada com emissão de fóton único, são geradas em vários ângulos. Como são imagens axiais, podem ser construídas em 3D.
- A cintilografia óssea é um exame realizado para detectar alterações no sistema esquelético, como patologias osteoarticulares, fraturas, problemas metabólicos e metástases ósseas, através do uso de radiofármacos, como o metilenodisfonado, marcado com tecnécio 99, e o fluoreto-¹⁸F.
- A cintilografia pulmonar é um exame que busca detectar anormalidades na perfusão, na ventilação e na permeabilidade epitelial pulmonar. Uma das principais indicações clínicas da cintilografia pulmonar é a tromboembolia pulmonar.
- As cintilografias realizadas no sistema cardiovascular estão associadas à ergometria ou ao estresse farmacológico. Por ser um exame sensível para detectar isquemia do miocárdio, é indicado o diagnóstico para pacientes coronariopatas em tratamento.
- A cintilografia gastrointestinal é utilizada para a pesquisa do refluxo gastroesofágico (RGE). O radiofármaco utilizado é o enxofre coloidal, marcado com tecnécio 99 (^{99m}Tc-coloide).
- Para a cintilografia das glândulas salivares, é utilizado o pertecnetato de sódio, marcado com o tecnécio 99 ($\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$), que é captado pelas glândulas salivares e secretado pelo epitélio ductal.
- Existem dois fármacos utilizados na cintilografia de perfusão cerebral, o dicloridrato de etilenocisteinadietiléster (ECD) ou o hexametilpropilenoaminooxina (HMPAO), lipofílicos.
- A cisternocintilografia é um exame de cintilografia para avaliação dos espaços liquóricos, muito utilizado para acompanhamento da hidrocefalia e avaliação da fístula liquórica.
- A cintilografia da glândula tireoide é feita para avaliar forma, tamanho e estado da glândula, funcionamento, detectar nódulos etc.
- O gálio 67 (⁶⁷Ga) é um dos primeiros radiofármacos utilizados para detecção da inflamação. Geralmente, o uso é bem aceito em equipamentos, como a gama câmara.

- O radiofármaco utilizado na filtração glomerular é o ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA), marcado com tecnécio 99 (^{99m}Tc -DTPA).
- O principal radiofármaco utilizado para a cintilografia renal estática é o (ácido dimercaptossuccínico) DMSA, marcado com tecnécio 99 (^{99m}Tc -DMSA). A concentração do ^{99m}Tc -DMSA se dá, primeiramente, nas células do túbulo proximal renal, sendo que as imagens do córtex renal ocorrem em torno de duas horas.
- A cistocintilografia é utilizada para avaliar as estruturas do sistema excretor urinário, para que não ocorra fluxo retrógrado.
- Para a cintilografia escrotal, não há preparo prévio do paciente, e o radiofármaco utilizado é o pertecnetato de sódio, marcado com tecnécio 99m ($\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4$).
- A imagem formada pela tomografia por emissão de pósitrons (PET) oferece imagens satisfatórias com padrões metabólicos *in vivo*, por causa disso, a PET se insere na oncologia. Essas imagens metabólicas formadas pela PET são baseadas na administração por via intravenosa de compostos emissores de pósitrons.
- A tomografia por emissão de pósitrons utiliza isótopos de meia vida curta e número de massa reduzido, que não interferem na propriedade das moléculas biológicas. Hoje em dia, os equipamentos de PET são acoplados em equipamentos de tomografia computadorizada, formando o PET/CT, que obtém imagens fisiológicas e anatômicas.
- Os tumores têm alta captação de fluordesoxiglicose (FDG^{18}), devido à hiper celularidade, alta taxa de células e aumento de taxa metabólica. A inflamação causada pelas células tumorais também eleva, e muito, a captação pelo FDG^{18} .

AUTOATIVIDADE



1 A cintilografia óssea é um exame realizado para detectar alterações no sistema esquelético, como patologias osteoarticulares, fraturas, problemas metabólicos e metástases ósseas, através do uso dos radiofármacos. Podemos dizer que os radiofármacos utilizados no exame são:

- a) metilenodisfosfonado e fluoreto-¹⁸F.
- b) fluoreto-¹⁸F e dietilenotriaminopentacético.
- c) macroagregado de albumina humana e metilenodisfosfonado.
- d) dietilenotriaminopentacético e metilenodisfosfonado.
- e) cloreto de Tálcio -²⁰¹Tl e fluoreto-¹⁸F.

2 A dose utilizada no exame de cintilografia é de 3 a 4 mCi (111 a 148 MBq), por via intravenosa. Sempre antes do exame, é importante solicitar, ao paciente, que esteja em jejum de quatro horas. Como a dose total chega ao miocárdio de 3% a 5% em 10 minutos, a aquisição das imagens deve ser realizada a partir de 10 minutos da administração do radiofármaco ²⁰¹Tl por via intravenosa. Podemos dizer que essa cintilografia é:

- I- Cintilografia de perfusão miocárdica com Tálcio.
- II- Cintilografia do miocárdio com MIBI.
- III- Cintilografia do refluxo gastroesofágico.
- IV- Cintilografia do trânsito esofágico

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a I está correta.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas a III está correta.
- d) Todas estão corretas.

3 Descreva como é realizada a cintilografia das glândulas salivares.

4 Cite os tipos de cintilografia pulmonar.

INSTRUMENTAÇÃO E AQUISIÇÃO DE IMAGENS

1 INTRODUÇÃO

Prezado acadêmico, é preciso entender como os equipamentos utilizados na Medicina Nuclear funcionam e como é realizada a aquisição de imagens. Para esses assuntos serem percebidos por você, é importante prestar atenção aos mínimos detalhes.

A instrumentação é definida como instrumentos para a realização de um trabalho e, dentro do setor de Medicina Nuclear, os equipamentos utilizados são a gama câmara, uma SPECT, um PET e uma PET/CT.

Para obter imagens na Medicina Nuclear, é necessária a administração de um radiofármaco, por via de administração, prescrita com critério médico. Por exemplo, para o equipamento gama câmara detectar a radiação que está sendo emitida pelo radiofármaco, que foi administrado no paciente, esse aparelho tem uma câmara de cintilação que nada mais é que um cristal cintilador que cintila quando a radiação é detectada.

Acadêmico, fique atento aos assuntos que serão abordados e não se esqueça, ao fim do estudo, de realizar as atividades que contemplam partes importantes do assunto.

2 GAMA CÂMARA

O princípio da gama câmara foi um dos pioneiros na formação de imagens na Medicina Nuclear. Nos dias de hoje, a técnica de captação da imagem é realizada em equipamentos modernos e híbridos, mas a maioria deles leva dentro a captação da radiação proveniente do paciente baseado na gama câmara.

O princípio de funcionamento da gama câmara é a câmara de cintilação. Essa câmara está ligada a uma das fases de cristais NaI (TI), para que a radiação seja detectada (CAMARGO, 2015).

Nas câmaras modernas, o fótópico do isótopo é selecionado na aquisição das imagens. Por exemplo, tecnécio 99m, Iodo 131, Iodo 123 e gálio 67. Para que as imagens sejam boas, é importante zelar pelo bom funcionamento da câmara de cintilação.

Os testes realizados na gama câmara são fotopico, uniformidade do campo, resolução espacial etc. É importante que os testes para o controle de qualidade estejam de acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), norma 3.05, que fala dos requisitos de proteção e de segurança para serviços da Medicina Nuclear.

Segundo a CNEN 3.05, o teste de resolução espacial deve ser realizado de forma mensal. O de fotopico e o de uniformidade do campo, semestralmente, ou os testes podem passar por aceitação depois de alguma manutenção.

Para que a câmara de cintilação receba a radiação, é necessário que o equipamento tenha um colimador. Assim, estudaremos os colimadores a seguir.

2.1 COLIMADORES

O principal papel dos colimadores é conduzir os fótons da fonte radioativa para o cristal (câmara de cintilação). Na gama câmara, existem alguns tipos de colimadores. Esses colimadores são, geralmente, feitos de chumbo, tungstênio e platina. O mais utilizado é o de chumbo, pelo baixo custo.

O colimador de furos paralelos consiste em uma folha de chumbo com furos paralelos distribuídos proporcionalmente. Esse tipo de colimador é o mais utilizado para obtenção das cintilografias, pelo motivo de captar a baixa energia emitida pelo paciente, já que a administração de radiofármacos com baixa energia é prática diária nos serviços de Medicina Nuclear por questões de saúde do paciente e de radioproteção.

O colimador de furo único (pinhole) faz com que o campo de visão aumente e a imagem seja invertida. Esse tipo de colimador tem grande uso nas cintilografias de tireoide, por causa do aumento da imagem (magnificação). Esse tipo de colimador não tem só vantagens, mas, também, desvantagens, sendo, maior desvantagem, a baixa taxa de contagem.

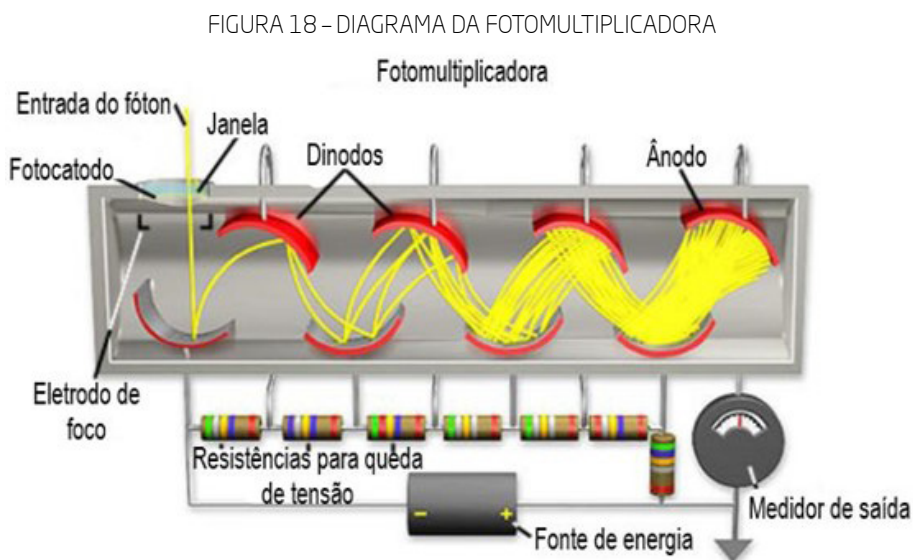
Os colimadores convergentes são feitos com furos cônicos para fora do detector, com o objetivo de magnificar (aumentar) a imagem. Esse colimador é utilizado, geralmente, quando o órgão a ser diagnosticado é pequeno. Os colimadores divergentes são constituídos com furos cônicos divergentes da face do detector e são utilizados para estudos de órgãos maiores, como o intestino.

Os colimadores *fan-beam* são os colimadores utilizados na SPECT. São em forma de leque ou de cone. São feitos com furos, que convergem em uma dimensão e são paralelos entre si na outra dimensão (HORONAKA *et al.*, 2017).

2.2 FOTOMULTIPLICADORAS

As fotomultiplicadoras estão presentes na câmara de cintilação para promover a conversão dos fótons de luz absorvidos pelos cristais em pulsos elétricos. A fotomultiplicadora é dividida em três partes: fotocátodo, eletrodo e ânodo.

Segue o diagrama de um tubo fotomultiplicador.



FONTE: <<http://hamamatsu.magnet.fsu.edu/articles/photomultipliers.html>>. Acesso em: 24 fev. 2020.

Através do diagrama apresentado, o fotocátodo é uma janela de vidro fotossensível pela qual os fótons que foram emitidos pelo paciente entram e se multiplicam em elétrons quando colidem com os dinodos. No fim da cadeia de dinodos, está um ânodo de coleta.

2.3 TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE PÓSITRON - PET

A Tomografia por Emissão de Póstron (PET) é um equipamento que detecta o póstron vindo do paciente em duas direções, a 360°. Quando os pares de póstron são detectados pelos detectores eletrônicos em um espaço de tempo muito curto, são convertidos em fótons de luz de 511 keV pelo cristal cintilador, que pode ser do tipo BGO ou LSO. Depois, é formado o pulso elétrico pelas fotomultiplicadoras presentes no equipamento.

NOTA

O pósitron é formado por elementos radioativos (radionuclídeos), que são injetados no paciente por via determinada, a critério médico. Geralmente, para o exame da PET, é utilizado o ^{18}F – flúor – FDG -fluordesoxiglicose.



Diferentemente da SPECT, que utiliza colimadores, o equipamento PET utiliza detectores que estão no *gantry* do equipamento, na forma de anel, fazendo com que todo pósitron emitido pelo paciente seja captado pelos detectores em 360° , fornecendo dados para a aquisição da imagem. Os pulsos elétricos são verificados pelo sistema da PET, para ver se estão de acordo com a janela de energia ajustada.

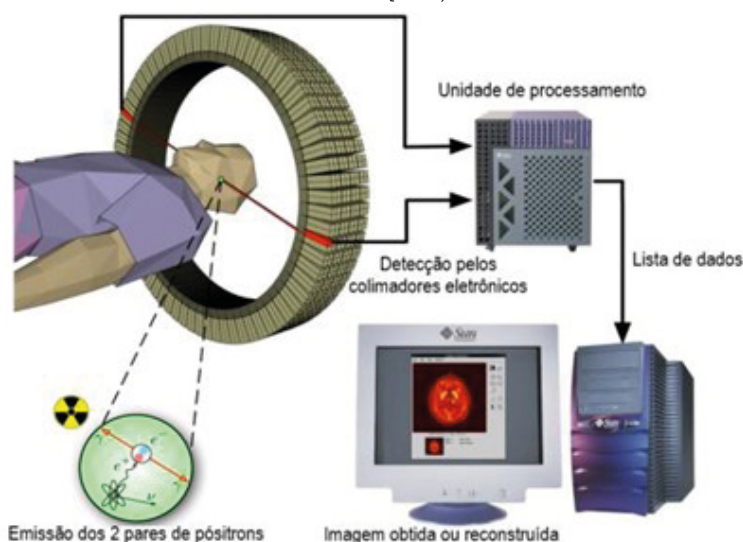
Os dados obtidos em modo estático ou dinâmico devem ser armazenados no computador, com o pixel correspondente à matriz da imagem. A matriz é a imagem em arranjos e colunas através de pixels (MORAES, 2007).

Os dados das imagens podem ser obtidos em duas dimensões (2D) ou em três dimensões (3D). Quando as imagens são obtidas em modo 3D, a qualidade da imagem é melhor, e o exame é realizado de forma mais rápida.

É possível realizar a reconstrução das imagens obtidas em 2D e em 3D. A reconstrução de imagens em 3D é complicada pelo grande número de imagens obtidas em cada exame de cintilografia.

Segue o processo de aquisição de imagens com o equipamento PET.

FIGURA 19 – DIAGRAMA DA AQUISIÇÃO DE IMAGENS PELO PET



FONTE: <<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PET-schema.png>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

O controle de qualidade dos equipamentos PET pode ser realizado através de um fantoma, que contenha um emissor pósitron. Esse teste detecta se a aquisição pelos detectores eletrônicos está sendo realizada de acordo com as normas vigentes de autoridades federais, estaduais e municipais.

3 TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA POR EMISSÃO DE FÓTON ÚNICO - SPECT

Esse sistema é baseado em uma câmara gama com detectores de NaI(Tl), ligados a um computador com software para obtenção dos dados obtidos em cada exame de cintilografia específico.

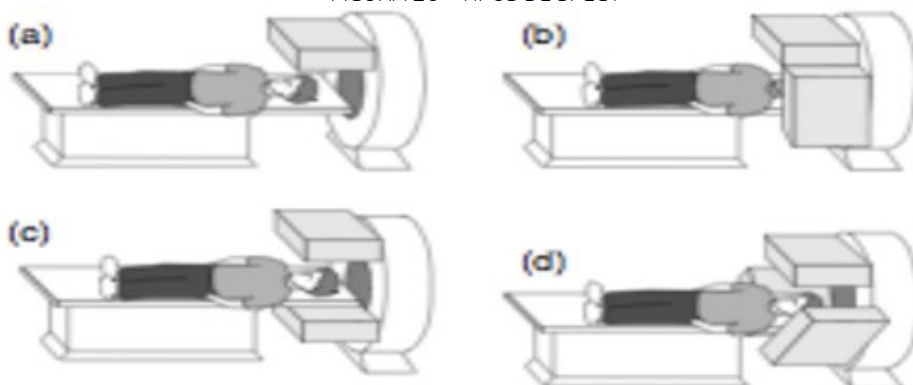
O detector gira a 180° e a 360° ao redor do paciente, e o giro é sempre realizado de acordo com a solicitação médica da parte anatômica. Como estudamos na parte da fotomultiplicadora, que os dados são coletados em pulsos elétricos, as projeções geram os pulsos elétricos, que formam as imagens em matrizes com tamanho de 68 ou 128. É importante sempre lembrar que a quantidade de pixel na imagem influencia o tempo do estudo, porque, quanto mais pixels a imagem tem, melhor é a resolução, além da obtenção de uma boa imagem, com o auxílio da tomografia.

O equipamento SPECT tem uma quantidade de radiação gerada menor do que a tomografia computadorizada. Isso gera a limitação da quantidade de projeções obtidas, que recai sobre a resolução da imagem e o tamanho dos pixels.

Após a obtenção das imagens, são reconstruídas em planos que são, geralmente, selecionados para o estudo. Algoritmos podem ser utilizados para a reconstrução das imagens. Os planos podem ser sagital, coronal e transversal. Quanto mais cabeças o SPECT tem com detectores, mais precisa é a quantidade de imagens obtidas, e o tempo do estudo é menor.

Seguem exemplos de SPECT com cabeças (detectores).

FIGURA 20 – TIPOS DE SPECT





FONTE: <<https://bit.ly/3Avn5nf>>. Acesso em: 29 fev. 2021.

Perceba que foram mostradas as possíveis configurações da SPECT: a) 1 cabeça e 1 detector, b) 2 cabeças e 2 detectores ortogonais, c) 2 cabeças e 2 detectores opostos, d) 3 cabeças e 3 detectores, e) 4 cabeças e 4 detectores, f) múltiplos detectores com cristais com menor campo de visão.

Para a obtenção de imagens em um SPECT:

- Selecionar o tamanho da matriz.
- Selecionar a rotação de 180° a 360°.
- Selecionar o colimador.
- Selecionar o tempo total do exame.
- Selecionar o número de imagens a serem obtidas.
- Selecionar a janela de energia.
- Selecionar o tempo de obtenção de cada imagem.

O controle de qualidade do equipamento SPECT deve ser baseado nas normas da CNEN e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Os testes realizados são de fotopico, tamanho do campo, rotação, resolução espacial e sensibilidade dos detectores. Alguns testes, como o de rotação do *gantry* e de resolução espacial, por exemplo, necessitam de um fantoma. Esse fantoma serve para auxiliar o teste.

A periodicidade do teste de rotação do *gantry*, como dos outros testes, deve estar de acordo com as normas vigentes e com o manual do equipamento. A não realização dos testes pode colocar os exames e os pacientes em risco.

4 PET/CT

Agora, estudaremos o equipamento híbrido PET/CT, que traz estudos funcionais e anatômicos, que melhoram a relação entre o alvo e as lesões. O equipamento PET/CT fornece a fusão das imagens fisiológicas e anatômicas.

No *gantry* do equipamento PET/CT, são montados os equipamentos PET e TC juntos. Geralmente, a imagem gerada, primeiramente, é a da TC, pela localização no *gantry*, depois, sendo formada a imagem da PET.

A PET/CT tem grande utilização na oncologia e no tratamento pela radioterapia, servindo como parte do planejamento. A quantidade gerada de imagens pelo sistema híbrido ajuda no diagnóstico e é ponto-alvo do tratamento (CAMARGO, 2015).

No momento do exame, o paciente deve estar hidratado, não portar, nos bolsos ou na roupa, nenhum objeto de metal, para não interferir nas imagens que serão geradas e causar algum falso-positivo.

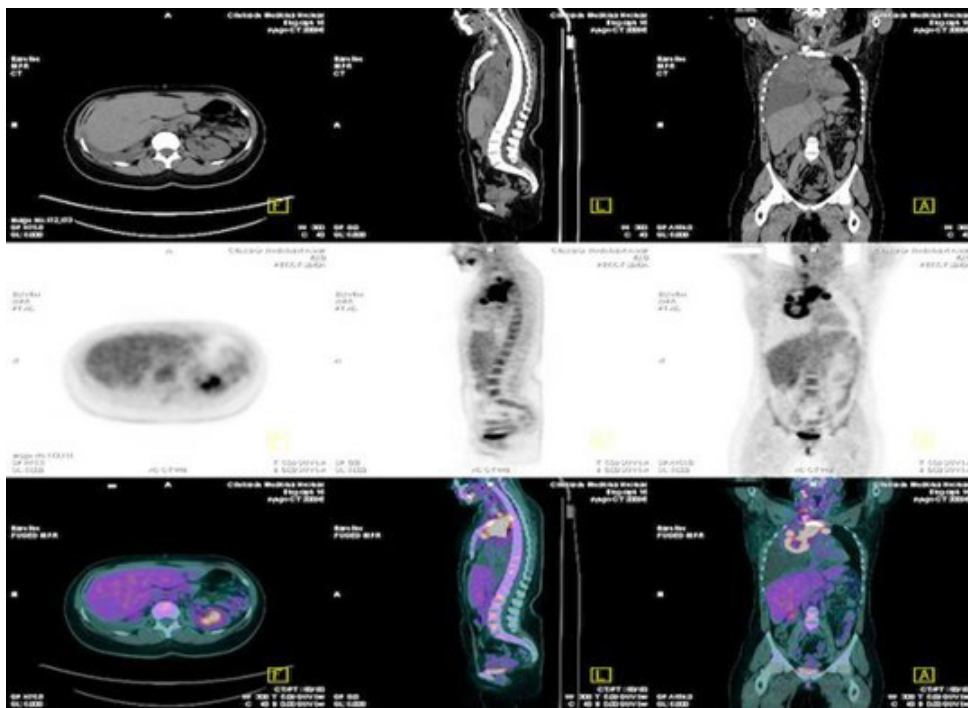
É realizada a aplicação do material radioativo fluordeoxiglicose-18F (NaF-¹⁸F), que é composto de glicose e tem a meia vida curta. Quando o radiofármaco se espalhar pelo corpo do paciente, deve se concentrar em locais nos quais a atividade metabólica é mais intensa, por causa do consumo de glicose.

As imagens obtidas informam, ao médico nuclear, o possível tumor ou alerta para possíveis alterações patológicas que possam ocorrer. A PET/CT também está indicada para doenças cerebrais e cardíacas.

Os equipamentos de PET/CT atuais têm mais espaço e não fazem ruídos, não havendo a necessidade de fones de ouvido no momento do exame, e a dose de radiação é extremamente baixa. Após o exame, o paciente pode voltar à rotina normal.

Segue um exame de PET/CT da caixa torácica ao abdômen

FIGURA 21 – EXAME DE PET/CT REGIÕES DO TÓRAX E DO ABDÔMEN



FONTE: <<https://bit.ly/2MJYB0r>>. Acesso em: 24 fev. 2021.

ATENÇÃO



Perceba que, na figura anterior, as primeiras imagens são geradas pela TC, as segundas são geradas pela PET e as terceiras são uma fusão de imagens entre a PET e a TC.



DICA

Para conhecimento do tema, leia o seguinte artigo: https://www.scielo.br/pdf/rb/v48n3/pt_0100-3984-rb-48-03-0175.pdf.

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você aprendeu:

- A instrumentação é definida como instrumentos para a realização de um trabalho, e, dentro do setor de Medicina Nuclear, os equipamentos utilizados são a gama câmara, uma SPECT, um PET e uma PET/CT.
- O princípio da gama câmara foi um dos pioneiros na formação de imagens na Medicina Nuclear. Nos dias de hoje, a técnica de captação da imagem é utilizada em equipamentos modernos e híbridos, mas a maioria deles leva dentro a captação da radiação proveniente do paciente, com base na gama câmara.
- O princípio de funcionamento da gama câmara é a câmara de cintilação, estando ligada a uma das fases de cristais Na I(Tl), para que a radiação seja detectada.
- Nas câmaras modernas, o fotopico do isótopo é selecionado na aquisição das imagens. Por exemplo, tecnécio 99m, Iodo 131, Iodo 123 e gálio 67.
- Os testes realizados na gama câmara são fotopico, uniformidade do campo e resolução espacial. É importante que os testes para o controle de qualidade estejam de acordo com a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), norma 3.05, que trata dos requisitos de proteção e de segurança para serviços de medicina nuclear.
- Segundo a CNEN 3.05, o teste de resolução espacial deve ser realizado de forma mensal; o de fotopico e o de uniformidade do campo, semestralmente, ou os testes podem passar por aceitação, depois de alguma manutenção.
- O principal papel dos colimadores é conduzir os fótons da fonte radioativa para o cristal (câmara de cintilação). Na gama câmara, existem alguns tipos de colimadores, que são, geralmente, feitos de chumbo, tungstênio e platina. O mais utilizado é o de chumbo, pelo baixo custo.
- O colimador de furos paralelos consiste em uma folha de chumbo com furos paralelos distribuídos proporcionalmente. O colimador de furo único (pinhole) faz com que o campo de visão aumente e a imagem seja invertida. Os colimadores convergentes são feitos com furos cônicos para fora do detector, com o objetivo de magnificar (aumentar) a imagem.
- Os colimadores *fan-beam* são utilizados na SPECT, em forma de leque ou de cone, feitos em furos que convergem em uma dimensão e são paralelos entre si na outra dimensão.

- As fotomultiplicadoras estão presentes na câmara de cintilação para promover a conversão dos fótons de luz absorvidos pelos cristais em pulsos elétricos.
- A Tomografia por Emissão de Póstron (PET) é um equipamento que detecta o póstron vindo do paciente em duas direções, a 360°.
- Na PET, quando os pares de póstron são detectados pelos detectores eletrônicos em um espaço de tempo muito curto, são convertidos em fótons de luz de 511 keV pelo cristal cintilador.
- Os detectores da PET estão no *gantry* do equipamento, em forma de anel.
- O equipamento SPECT utiliza colimadores e não detectores eletrônicos, como a PET.
- Os pulsos elétricos são verificados pelo sistema da PET para ver se estão de acordo com a janela de energia ajustada.
- Os dados obtidos no equipamento PET podem ser em modo estático ou dinâmico, e devem ser armazenados no computador, de acordo com o pixel da imagem.
- Os dados das imagens podem ser obtidos em duas dimensões (2D) ou em três dimensões (3D). Quando as imagens são obtidas em modo 3D, a qualidade da imagem é melhor, e o exame é realizado de forma mais rápida.
- É possível realizar a reconstrução das imagens obtidas em 2D e em 3D.
- O controle de qualidade dos equipamentos PET pode ser realizado através de um fantoma, que contenha um emissor póstron. Esse teste detecta se a aquisição pelos detectores eletrônicos está sendo realizada de acordo com as normas vigentes de autoridades federais, estaduais e municipais.
- O sistema SPECT é baseado em uma câmara gama com detectores de NaI (TI) ligados a um computador com software para obtenção dos dados obtidos em cada exame de cintilografia específico.
- O equipamento SPECT tem uma quantidade de radiação gerada menor do que a tomografia computadorizada, e isso leva à limitação da quantidade de projeções obtidas, que recai sobre a resolução da imagem e o tamanho dos pixels.
- É importante sempre lembrar que a quantidade de pixel na imagem influencia no tempo do estudo, porque quanto mais pixels a imagem tem, melhor é a resolução.
- Após a obtenção das imagens pela SPETC, estas são reconstruídas em planos que são, geralmente, selecionados para o estudo. Algoritmos podem ser utilizados para a reconstrução das imagens.

- A periodicidade do teste de rotação do *gantry* na SPECT, como dos outros testes, deve estar de acordo com as normas vigentes e com o manual do equipamento. A não realização dos testes pode colocar os exames e os pacientes em risco.
- O equipamento PET/CT fornece a fusão das imagens fisiológicas e anatômicas.
- No *gantry* do equipamento PET/CT, são montados os equipamentos PET e TC juntos. Geralmente, a imagem gerada, primeiramente, é a da TC, pela localização no gantry, depois, sendo formada a imagem da PET.
- A PET/CT tem grande utilização na oncologia e no tratamento pela radioterapia, servindo como parte do planejamento. A quantidade gerada de imagens pelo sistema híbrido ajuda no diagnóstico e no ponto-alvo do tratamento.
- Para o exame de PET/CT, é realizada a aplicação do material radioativo fluordeoxiglicose-18F (NaF-¹⁸F), que é composto de glicose e tem a meia vida curta. Quando o radiofármaco se espalhar pelo corpo do paciente, deve se concentrar em locais nos quais a atividade metabólica é mais intensa, por causa do consumo de glicose.
- As imagens obtidas informam, ao médico nuclear, o possível tumor, ou o alerta para possíveis alterações patológicas que possam ocorrer. A PET/CT também está indicada para doenças cerebrais e cardíacas.
- Os equipamentos de PET/CT atuais têm mais espaço, não fazem ruídos, não havendo a necessidade de fones de ouvido no momento do exame, e a dose de radiação é extremamente baixa. Após o exame, o paciente pode voltar à rotina normal.

AUTOATIVIDADE



1 A Tomografia por Emissão de Póstron (PET) é um equipamento que detecta o póstron vindo do paciente em duas direções, a 360° . Quando os pares de póstron são detectados pelos detectores eletrônicos em um espaço de tempo muito curto, são convertidos em fótons de luz pelo cristal cintilador, que pode ser do tipo BGO ou LSO. Depois, é formado o pulso elétrico pelas fotomultiplicadoras presentes no equipamento. Podemos dizer que a energia dos fótons de luz, captada pelos detectores eletrônicos provenientes dos dois pares de póstrons, é de:

- a) Fótons de luz de 511 keV.
- b) Fótons de luz de 515 keV.
- c) Fótons de luz de 517 keV.
- d) Fótons de luz de 518 keV.
- e) Fótons de luz de 519 keV.

2 Esse sistema é baseado em uma câmara gama com detectores de Na I(Tl), ligados a um computador com software para obtenção dos dados obtidos em cada exame de cintilografia específico. Esse equipamento tem uma quantidade de radiação gerada menor do que a tomografia computadorizada, e isso leva à limitação da quantidade de projeções obtidas, que recai sobre a resolução da imagem e o tamanho dos pixels. Podemos dizer que esse equipamento é:

- I- SPECT.
- II- PET/CT.
- III- PET.
- IV- SPECT/CT.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a I está correta.
- b) Apenas I e III estão corretas.
- c) Apenas a IV está correta.
- d) Todas estão corretas.

3 Descreva o que é necessário para a obtenção de imagens em uma SPECT.

4 Cite seis itens importantes da PET/CT.

REFERÊNCIAS

- CAMARGO, R. **Radioterapia e Medicina Nuclear**: conceitos, instrumentação, protocolos, tipos de exames e tratamentos. 1. ed. São Paulo: Érica, 2015.
- CNEN. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Norma 3.05**. 2020. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm305.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2020.
- HORONAKA, H. H.; ONO, R. C.; BUCHPIGUEL, A. C.; SAPIENZA, T. M.; LIMA, S. M. **Medicina Nuclear - Princípios físicos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2017.
- MORAES, F. A. **Manual de Medicina Nuclear**. São Paulo: Atheneu, 2007.
- SBMN. SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA NUCLEAR. **História**. 2020. Disponível em: <https://sbmn.org.br/sobre-a-sbmn/historia/>. Acesso em: 24 dez. 2020.
- SIEMENS. **Equipamento SPECT**. 2020. Disponível em: https://static.healthcare.siemens.com/siemens_hwem-hwem_sxxa_websites-contextroot/wcm/idc/groups/public/@global/@imaging/@molecular/documents/download/mda1/mjyy/~edisp/spectbrochure-02180013.pdf. Acesso em: 29 jan. 2021.
- TOLENTINO, M.; FILHO ROCHA, C. R. A Nucleo-síntese dos metais transurânicos. **Química Nova**, v. 18, n. 4, p. 384-395, 2005.

RADIOISÓTOPOS EM MEDICINA NUCLEAR

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- saber da produção e da utilização dos radioisótopos;
- observar o manuseio dos radioisótopos;
- conhecer os limites de doses que devem ser levados em consideração quanto ao manuseio;
- visualizar a sala de manipulação dos radioisótopos;
- compreender a dosimetria, segundo as normas;
- verificar as doses recebidas em exames de Medicina Nuclear.

PLANO DE ESTUDOS

A cada tópico desta unidade você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS

TÓPICO 2 – MANUSEIO DE RADIOISÓTOPOS DE NÍVEIS BAIXOS E INTERMEDIÁRIOS

TÓPICO 3 – DOSIMETRIA E RADIOISÓTOPOS



CHAMADA

Preparado para ampliar seus conhecimentos? Respire e vamos em frente! Procure um ambiente que facilite a concentração, assim absorverá melhor as informações.



CONFIRA A TRILHA DA UNIDADE 2!

Acesse o
QR Code abaixo:



UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS

1 INTRODUÇÃO

Prezado acadêmico, abordaremos, nesta unidade, a utilização dos radioisótopos na Medicina Nuclear. Este tópico é de extrema importância para o seu aprendizado, pois sem informações acerca dos radioisótopos, o conhecimento fica prejudicado. Então, vamos lá?!

Os radioisótopos estão sendo utilizados em longa escala nos dias atuais, e podem ser usados para tratamento e para aquisição de imagens. Como vimos na Unidade I, o Iodo 131 serve para terapia da tireoide e tem meia vida de oito dias.

O radioisótopo, ou isótopo radioativo, é instável. Ele sofre decaimento radioativo e, como exemplos, há o chumbo e o tecnécio. O radioisótopo também pode ser chamado de radionuclídeo. O nuclídeo é um núcleo que tem uma quantidade certa de prótons e de nêutrons.

No decaimento radioativo ou desintegração radioativa, ocorre emissão de raios-gama, partículas alfa e partículas beta. A radiação gama é uma radiação eletromagnética com elevada energia de penetração. As partículas alfa são formadas por dois prótons e dois nêutrons e as partículas beta são formadas por elétrons e pósitrons, com pouco poder de penetração.

É dado o nome de meia vida para a desintegração radioativa do radioisótopo. Isso significa que existe um tempo para o núcleo de uma amostra radioativa se desintegrar. Através da meia vida, e do decaimento rápido de alguns radioisótopos, como o tecnécio 99m , este foi implementado na medicina nuclear para permitir e para evidenciar a funcionalidade e o metabolismo de órgãos e de tecidos.

É importante citar que a quantidade de radiação que o paciente recebe, na Medicina Nuclear, para a realização de um exame, é muito menor do que se o paciente fosse exposto a um exame de tomografia computadorizada, por exemplo.

Outro termo importante dos radioisótopos é a meia vida biológica, que está relacionada ao tempo necessário que o organismo do paciente que recebeu a administração do radionuclídeo leva para eliminá-lo do organismo.

Acadêmico, não se esqueça de que, para ser administrado no paciente, o radionuclídeo precisa estar associado a um fármaco adequado ou às moléculas. Esses radiofármacos são utilizados de acordo com o tipo de exame a ser realizado. Por exemplo, na PET, o mais usado é o flúor 18 FDG, análogo da glicose, com emissão de pósitrons.

2 UTILIZAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS

Os benefícios da energia nuclear são vastos. Na medicina, na indústria farmacêutica e na agricultura, o uso da energia proveniente dos radioisótopos é grande, por exemplo, na medicina, na área nuclear, há o diagnóstico e a terapia.

Antes de falar da utilização dos radioisótopos, é importante saber como eles são produzidos. Vamos lá?!

2.1 TECNÉCIO-99M

O tecnécio-99m é obtido no decaimento do molibdênio-99, e o molibdênio-99 é um produto de fissão do urânio-235 em reatores nucleares. Como o molibdênio-99 é separado no processo de fissão, decai a um tecnécio-99m metaestável.

O molibdênio-99 tem meia vida de 66 horas e, através dele, é realizada a extração química do tecnécio-99m. Depois da extração, o tecnécio 99m (^{99m}Tc) emite radiação γ de 140 keV, com meia vida de seis horas.

Nos centros de Medicina Nuclear, é utilizado o gerador de tecnécio-99m para obtenção do radiofármaco. Assim, segue um gerador de tecnécio-99m blindado e acondicionado em recipiente plástico.

FIGURA 1 – GERADOR DE TECNÉCIO-99M BLINDADO



FONTE: <<https://bit.ly/3bw8R4q>>. Acesso em: 3 fev. 2021.

Para se obter o radiofármaco através desse gerador de ^{99m}Tc , mostrado na figura anterior, ocorre a desintegração do molibdênio-99, que está dentro de uma embalagem blindada, em tecnécio-99m, que será transformada em uma solução injetável do radiofarmacopertecnetato de sódio (^{99m}Tc). O gerador só deve ser manipulado por pessoal treinado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).



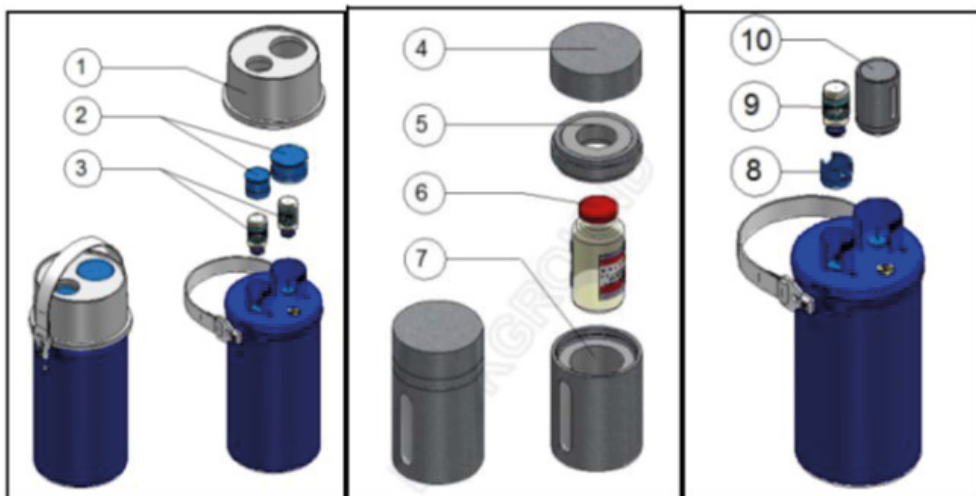
NOTA

O molibdênio-99 tem meia vida de 66 horas e o tecnécio-99m tem meia vida de seis horas.

É colocada, no gerador de ^{99m}Tc , uma solução de cloreto de sódio a 0,9%, que será eluído em 50 segundos, através da coluna. A coluna é fechada em ambas as extremidades e duas agulhas permitem a entrada e a saída do líquido eluente, que será levado ao frasco coletor na quantidade de 6 ml.

Segue o exposto de como dever ser realizado o procedimento da eluição.

FIGURA 2 – PROCEDIMENTO DE ELUIÇÃO DO GERADOR



FONTE: <<https://bit.ly/3AvVnqr>>. Acesso em: 11. fev. 2021.

Segundo o Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares – IPEN (2019a), a eluição do gerador deve ser realizada da seguinte forma:

- Remover a tampa protetora do gerador (1).
- Remover as tampas dos protetores de agulha (2).
- Remover os frascos protetores de agulhas (3), contendo as soluções bacteriostática/bactericida da posição de entrada (orifício de menor diâmetro) e da posição de coleta (orifício de maior diâmetro).
- Remover a tampa superior da blindagem de chumbo (4).
- Tirar a tampa de rosca da blindagem de chumbo (5) e inserir o frasco a vácuo (6) dentro da blindagem de chumbo (7), para realizar a eluição do gerador de maneira segura para o operador.

- Inserir a tampa de rosca (5) no corpo da blindagem.
- Inserir, na posição de entrada (orifício de menor diâmetro), o anel centralizador (8).
- Inserir, na posição de entrada, o frasco (9), contendo a solução fisiológica estéril (frasco de tampa azul).
- Para efetuar a eluição, inserir o frasco coletor contido no interior da blindagem de chumbo (10), na posição de coleta.
- Ao fim de, aproximadamente, 50 segundos, a eluição terá chegado ao fim. Certificar-se de que a quantidade eluída tenha volume aproximado de 6 mL. Se o volume coletado na eluição for menor que 6 mL, substituir o frasco coletor da blindagem de chumbo por outro, com vácuo, e efetuar nova eluição, mantendo o mesmo frasco de eluente.
- Ao fim da eluição, remover os frascos da posição de entrada e da posição de coleta, e substituí-los pelos frascos de soluções bacteriostática/bactericida, até a próxima eluição.
- A solução final, límpida e incolor, apresenta pH de 4,0 – 8,0, e pode ser utilizada até seis horas se conservada em temperatura-ambiente, mantendo-se o lacre do frasco.
- Evitar a entrada de ar ao retirar as doses do frasco. Identificar o frasco com etiqueta, indicando material radioativo, retirar a amostra para controle de qualidade e manter a abrigo da luz.
- Realizar o controle de qualidade no eluído.

Esse radiofármaco, pertecnetato de sódio (^{99m}Tc), só pode ser utilizado para realização de exames e diagnóstico em medicina nuclear e para a aquisição de imagens por cintilografias. Tem fácil distribuição no organismo, podendo ser utilizado em cintilografias das glândulas tireoide e salivares. Esse radiofármaco deve ser sempre injetado por via intravenosa.



NOTA

Acadêmico, o radiofármaco pertecnetato de sódio (^{99m}Tc), obtido através da eluição no gerador de tecnécio ^{99m}Tc , pode ser utilizado para exames de avaliação do ducto lacrimal através da administração de uma gota na região lacrimal do paciente.

Antes da realização da cintilografia, é bom checar se o paciente tem ou não hipersensibilidade ao pertecnetato de sódio (^{99m}Tc). O correto é estar sempre atento aos componentes presentes no radiofármaco (IPENa, 2020). As reações ao radiofármaco são raras e leves, podendo ser reversíveis, mas podem ocorrer edema facial, urticária, arritmia cardíaca e prurido.

É necessário ter cuidado no uso do pertecnetato de sódio (^{99m}Tc) em grávidas. A administração deve ser acompanhada pelo médico responsável pela solicitação, pelo motivo de possíveis reações no corpo da mulher que podem trazer danos ao feto. Se o paciente que for submetido ao exame tiver contato com bebê e com mulher grávida, o contato próximo deve ser restringido por 12 horas.

2.1.1 Armazenamento do gerador de tecnécio-99m

O gerador de tecnécio-99m deve ser armazenado dentro do setor de Medicina Nuclear, em local específico, com toda proteção, sempre em vertical, com medidor de temperatura-ambiente que deve estar marcando sempre entre 15 a 30°C. Não só o gerador deve ser guardado nessa temperatura, mas o frasco da eluição também, em recipiente blindado.

A localização precisa do gerador de tecnécio-99m, dentro do setor de Medicina Nuclear, deve ser sempre no setor de preparação de radiofarmácios. As agulhas do gerador devem estar sempre protegidas pelas tampas protetoras.

2.1.2 Indicações de utilização do pertecnetato de sódio

O pertecnetato de sódio (^{99m}Tc), obtido através da eluição do gerador, é utilizado em exames de Medicina Nuclear para obter informações funcionais e metabólicas em:

- Cintilografia das glândulas salivares.
- Cintilografia do divertículo de Meckel.
- Cintilografia da glândula tireoide.
- Cintilografia do refluxo vésico-ureteral.
- Cintilografia da análise das funções ventriculares direita e esquerda.
- Cintilografia óssea.
- Cintilografia pulmonar.
- Cintilografia do miocárdio com MIBI.
- Cintilografia gastrointestinal.
- Cintilografia de perfusão cerebral.
- Cintilografia renal dinâmica.
- Cintilografia renal estática.

2.1.3 Flúor-18

O flúor-18 é emissor de pósitrons e é muito utilizado na Medicina Nuclear, principalmente, no uso da tomografia por emissão de pósitrons (PET), ou PET/CT. Esse radioisótopo é obtido através do bombardeamento de oxigênio-18 em um ciclotron, através de prótons acelerados.

O flúor-18 é instável e, durante o decaimento, emite um pósitron, que encontra um elétron, formando a emissão de dois fótons de 0,511 MeV.

O análogo da glicose (2-desoxi-2-¹⁸Flúor-D-glicose), marcado com flúor-18, é injetado no paciente e, quando se distribui pelo organismo, esse radioisótopo se liga às moléculas de glicose. Como o tecido portador de câncer tem alterações, as moléculas de glicose ficam alteradas naquele local, fazendo com que o radioisótopo se concentre naquela região.

Esse radioisótopo é perfeito para o uso no PET ou PET/CT, pelo motivo de ter meia vida de 109 min, ter baixa penetração no tecido, favorecendo a qualidade das imagens obtidas.

2.1.4 Indicações de utilização do Flúor-18

Segundo Soares *et al.* (2010), o radioisótopo Flúor-18 é utilizado, principalmente, para detectar neoplasias que estão espalhadas pelo corpo. Dentre essas neoplasias, as que mais se destacam são:

- Metástases ósseas com a utilização do radiofármaco fluoreto de sódio (NaF-¹⁸F).
- Tumores do sistema respiratório.
- Tumores de cabeça e de pescoço.
- Tumores de mama.
- Tumores do sistema digestivo.
- Tumores dos órgãos genitais.
- Tumor da tireoide.
- Tumores do sistema nervoso central.
- Tumores ocultos.

2.1.5 Iodo-131

O iodo 131, muito utilizado na Medicina Nuclear para terapia e cintilografia da tireoide, é obtido no decaimento do telúrio-131, que é produzido em reator nuclear. O telúrio-131 decai em Iodo-131 e o Iodo 131 decai em xenônio-131.

O Iodo 131 (iodeto de sódio), preparado em solução para administração oral, tem meia vida de 8,02 dias, decai por emissão de partículas beta e gama. Pela energia gerada, é perfeito para o diagnóstico e para a terapia, já que a energia gerada pelas partículas beta do ¹³¹I é de 606 keV, e a energia solicitada de fótons para a formação da imagem é de 364 keV.

2.1.6 Indicações de utilização do Iodo 131

O Iodo 131 (iodeto de sódio) é utilizado para diagnóstico de doenças da tireoide, no tratamento do hipertireoidismo, bócio nodular, tireoidite subaguda, avaliação geral do funcionamento da glândula tireoide e avaliação de alguma anormalidade na região do pescoço.

O Iodo 131 (iodeto de sódio) também é utilizado no tratamento de carcinomas, como o papilar e o folicular da tireoide. Esse radiofármaco tem grande eficácia em tratamentos de bócio e no diagnóstico de metástases ou recidivas em 98% (IPEN, 2015).

A excreção urinária se dá em 24 horas, com taxa de 36% a 76% do que foi administrado no paciente, dependendo sempre da função renal. Por exemplo, a meia vida do radioisótopo, na tireoide, é de 80 dias em pacientes com função tireoidiana normal, e, em pacientes com hipertireoidismo, é de 5 a 40 dias.

Existem algumas contraindicações a pacientes que devem ser levadas a sério no momento do uso desse radioisótopo, como:

- Problemas gastrointestinais.
- Diarreia.
- Problemas medulares.
- Problemas respiratórios.
- Mau funcionamento das glândulas salivares.
- Problemas neurológicos.

É sempre importante ficar atento se a paciente está grávida, já que a exposição à radiação traz riscos ao feto. Mulheres que realizam o tratamento ou cintilografia não devem tentar engravidar depois. É necessário deixar o radioisótopo ser todo excretado do corpo.

2.1.7 Gálio-67

O gálio-67 (citrato de gálio), muito utilizado para gerar imagens em processos inflamatórios, infecciosos ou tumorais, tem meia vida de 78 horas, e pode ser utilizado, também, para imagens com equipamentos SPECT, além da cintilografia.

A administração sempre será intravenosa e a eliminação do organismo é sempre lenta, levando em torno de 24 dias para a eliminação da quantidade administrada no paciente submetido ao exame diagnóstico pela Medicina Nuclear.

É importante citar que se deve ter certeza se o paciente é tolerável ao citrato de gálio (Ga 67), pois se tiver hipersensibilidade, é necessário encontrar outro meio para realização das imagens diagnósticas, e essa hipersensibilidade deve ser sempre notificada.

Segundo o IPEN (2015), a utilização da atividade recomendada de citrato de gálio para um adulto de 70Kg será mostrada a seguir:

TABELA 1 - ATIVIDADE RECOMENDADA DE CITRATO DE GÁLIO 67

Indicação	Atividade Recomendada
Obter imagem de processos infecciosos e inflamatórios	(150 – 370 MBq) (4 a 10 mCi)
Imagem tumoral	(185 MBq) (5 mCi)

FONTE: Adaptada de IPEN (2015)

Em crianças, a administração do gálio 67 deve ter os devidos cuidados, para que não ocorram doses a mais do recomendado, então, se faz necessária a utilização do *DosageCard*, da Associação Europeia de Medicina Nuclear (EANM).

O *DosageCard* da EANM são publicações de dosagens de radiofármacos em crianças. A primeira publicação foi em 2008, mas, em seguida, houve uma associação com as diretrizes de doses norte-americanas que, em 2016, publicaram, juntas, a última atualização da dosagem pediátrica.

A EANM criou um aplicativo chamado de PedDose que traz as doses atualizadas com a nova diretriz. Esse aplicativo pode ser baixado no Google Play e está disponível em sistemas, como o Android e o iOS. Segundo a EANM, o aplicativo foi baixado cerca de 2.500 vezes (EANM, 2020).

Observe a atividade mínima de aplicação do gálio 67, de acordo com o *DosageCard* da EANM.

TABELA 2 - ATIVIDADE MÍNIMA DE APLICAÇÃO DO GÁLIO 67, DE ACORDO COM O *DOSAGECARD* DA EANM

Indicação	Atividade Mínima Administrada
Imagem Tumoral	10 MBq

FONTE: Adaptada de IPEN (2015)



ATENÇÃO

Prezado acadêmico, você notou que é necessário ter cuidado na aplicação do radiofármaco citrato de gálio 67 em crianças?

Embora raras, algumas reações adversas podem ocorrer após a administração do citrato de gálio 67 e, se ocorrerem, são de leve intensidade. Algumas reações adversas são:

- Náuseas.
- Erupções cutâneas.
- Calafrios.
- Reações alérgicas.
- Febre.
- Cefaleia.
- Vômitos.
- Taquicardia.
- Sabor metálico na boca.
- Tontura.
- Sudorese.

É importante lembrar que existe contraindicação para a realização do exame com gálio 67 em pacientes grávidas, e também não é recomendado para pacientes em amamentação, pois pode existir concentração do radiofármaco gálio 67 no leite materno, e, se for necessário utilizar, deve ser escolhido um radiofármaco que tenha uma meia vida curta.

2.1.8 Indicações de utilização do gálio-67 (citrato de gálio)

As indicações da utilização do gálio-67 (citrato de gálio) são bem vastas, e vão desde a obtenção de imagens de processos infecciosos ósseos ao câncer, febre de origem desconhecida, problemas no miocárdio e coração, melanoma e extensão da doença de Hodking.

2.1.9 Iodo 123

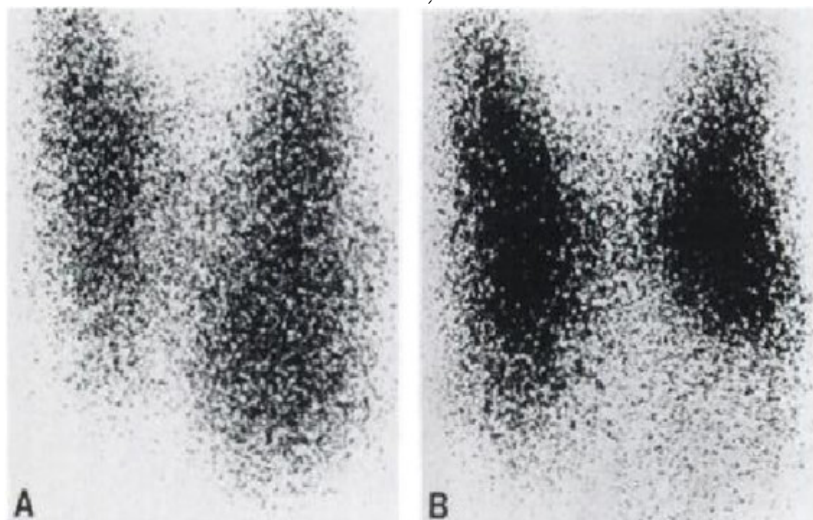
O radioisótopo Iodo 123, no Brasil, é produzido pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), em solução de iodeto de sódio (^{123}I). Segundo o IPEN (2015), o Iodo 123 é produzido em um ciclotron e tem meia vida de 13 horas e radiação de 159 keV de emissão de fótons gama.

O radiofármaco iodeto de sódio (^{123}I) é indicado em:

- Pesquisas de corpo inteiro.
- Diagnóstico da tireoide.
- Avaliação da glândula tireoide.

Segue uma figura da glândula tireoide utilizando pertecnetato de sódio ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) (a) e iodeto de sódio (^{123}I) (b).

FIGURA 3 – COMPARAÇÃO DE FIGURAS DA GLÂNDULA TIREOIDE



FONTE: <<https://bit.ly/3ImiPIs>>. Acesso em: 18 fev. 2021.

Perceba que a diferença nas figuras é pouca, mas, se observar atentamente, deve ver que o iodeto de sódio (^{123}I) define mais a figura em relação ao pertecnetato de sódio ($^{99\text{m}}\text{Tc}$).

A distribuição do iodeto de sódio (^{123}I) no organismo começa pelo trato gastrointestinal, depois, chega à tireoide. A captação da tireoide é aumentada quando o paciente tem hipotireoidismo, que significa produção do hormônio diminuída. A concentração na glândula tireoide tem meia vida efetiva de oito horas, e a excreção do radiofármaco iodeto de sódio (^{123}I) se dá pelos rins, assim, pacientes com problemas renais ficam com dose retida e têm excreção mais lenta do radiofármaco.

As doses de utilização do radiofármaco iodeto de sódio (^{123}I) são recomendadas pela Sociedade Americana de Medicina Nuclear e Imagem Molecular (SNMMI), e o cálculo de dose em crianças tem, como base, o *Dosage Card*.

Em estudos de pesquisa no corpo inteiro, a dose recomendada é de 0,4 a 5 mCi, que corresponde a 14,8 a 185 MBq. Já em crianças, a dose não pode ultrapassar 3 MBq.

Os efeitos adversos do iodeto de sódio (^{123}I) são relacionados à sensibilidade e podem acontecer erupções cutâneas e choque anafilático, por exemplo, e não são descartados, também, problemas pulmonares, como o broncoespasmo.

Em mulheres grávidas ou amamentando, é necessário ter cautela na administração de qualquer radiofármaco, já que o feto ou a criança pode receber doses do radiofármaco que não são boas para o crescimento normal. Pensando nesse assunto, abordaremos, a seguir, a utilização dos radiofármacos em mulheres que estão amamentando.

2.1.10 Utilização dos radiofármacos na amamentação

Segundo publicação do Ministério da Saúde (2014), é frequente o uso de radiofármacos por mulheres que estão amamentando e, para que não ocorram problemas, para as crianças que tomam o leite daquela mãe que está amamentando, foi necessário criar a classificação de risco para a utilização dos radiofármacos.

O uso da radiação em mães que amamentam deve ser realizado com atenção. O radiofármaco deve ser utilizado com base na meia vida, e não no poder de radiação.

Quando é necessário administrar uma dose mais alta, deve ser baseada em 10 meias vidas, e a sugestão é a de suspender o aleitamento materno. Essa decisão deve levar sempre em consideração a dose de radiação emitida pelo radiofármaco utilizado para a realização do exame na Medicina Nuclear.

Uma sugestão para a mãe que deve realizar um exame com um radiofármaco com emissão de radiação maior é realizar a extração do leite materno antes do exame, além do congelamento no freezer.

A identificação dos radiofármacos deve levar em consideração a categoria de risco:

- **Verde:** são os radiofármacos que podem ser administrados de forma segura.
- **Amarelo:** na administração desses radiofármacos deve-se avaliar o risco/benefício para a mulher que amamenta.
- **Vermelho:** a administração desses radiofármacos deve ser evitada, já que causam efeitos colaterais na lactante.

Seguem informações acerca da categoria de risco de cada radiofármaco baseadas na publicação do Ministério da Saúde (2014):

QUADRO 1 – CATEGORIA DE RISCOS E TIPOS DE RADIOFÁRMACOS (CONTINUA)

Fludeoxiglicose F 18	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de 24 horas.
Ga-67 citrato	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de uma semana na dose de 7Mbq (0,2mCi), duas semanas na dose de 50Mbq (1,3mCi) e um mês na dose de 150Mbq (4mCi). Meia vida "radioativa": 78,3 horas.
I-123	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de 12 horas na dose de 150MBq (4mCi) e após 24 horas na dose de 370MBq (10mCi).
I-131 MIBG	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de 25 dias na dose de 0,5mCi.

Tc-99m coloide sulfúrico (SC)	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de seis horas na dose de 440 Mbq (12mCi). Meia vida "radioativa": 6,02 horas.
Tc-99m difosfonato	Verde: Uso compatível com a amamentação na dose até 16,2mCi.
Tc-99m DMSA	Verde: Uso compatível com a amamentação na dose até dois a 5mCi.
Tc-99m DTPA	Verde: Uso compatível com a amamentação na dose até 30mCi.
Tc-99m albumina microagregada	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de 12 horas na dose de 150 Mbq (4mCi). Meia vida "radioativa": 6,02 horas.
Tc-99m MIBI	Verde: Uso compatível com a amamentação na dose até 27mCi.
Tc-99m sestamibi	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de 24 a 30 horas. Meia vida "radioativa": 6,02 horas.
Tc-99m Pertecnetato	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de 12 horas na dose de 440 Mbq (2mCi) e após 24 horas na dose de 1.100Mbq (5mCi). Meia vida "radioativa": 6,02 horas
Tl-201	Verde: Uso compatível com a amamentação após período de duas semanas na dose de 110Mbq (3mCi). Meia vida "radioativa": 73,1 horas.
I-123 sódio	Vermelho: Uso contraindicado durante a amamentação.
I-131	Vermelho: Uso contraindicado durante a amamentação.
I-131 sódio	Vermelho: Uso contraindicado durante a amamentação.

FONTE: Adaptado de Ministério da Saúde (2014)

Visualizamos as categorias de risco para o uso dos radioisótopos. Perceba que I-123, I-131 e I-131 sódio não são contraindicados para uso em exames de mulheres que estão fazendo amamentação.

Nos dias atuais, podem ser realizados testes para detectar o radioisótopo no leite materno após a meia vida do radioisótopo. Essa ação é importante para que o bebê não tenha contato com o elemento radioativo.

LEITURA COMPLEMENTAR



RADIOISÓTOPOS E SOCIEDADES O LEGADO DE MARIE CURIE 100 ANOS DEPOIS

João Paulo André e Arsênio de Sá

No ano em que se comemora o centenário da atribuição do Prêmio Nobel da Química para Marie Curie e o Ano Internacional da Química, é oportuno recordar, além de analisar a herança deixada para a humanidade por essa cientista excepcional. Trata-se de um legado que não só revolucionou a ciência, mas teve impactos profundos e incontornáveis na sociedade. A aplicação clínica dos radioisótopos, preconizada por ela e por Pierre Curie, constitui uma das armas mais poderosas, atualmente disponíveis.

As descobertas

Em 1896, Henri Becquerel descobriu as *radiações urânicas*, emitidas pelos sais de urânio. Dois anos mais tarde, quando já se preparava para abandonar o estudo desses raios misteriosos, uma jovem polaca, Marie Skodowska Curie (1867-1934), decide empreender, ela própria, essa investigação. Seria esse o tema da sua tese de doutorado. Para o efeito, inicia um estudo sistemático de vários minérios e sais de urânio, como a pecheblenda (minério que tem, como principal constituinte, o óxido de urânio) e a torbernite (maioritariamente fosfato hidratado de urânio e cobre).

Cedo, Marie Curie verificou que a pecheblenda era quatro vezes mais ativa do que o próprio urânio, e a torbernite duas vezes mais. Conclui que, a serem válidos os seus resultados que relacionavam a quantidade de urânio com a atividade emitida, esses dois minérios deveriam, então, conter pequenas quantidades de outras substâncias bem mais ativas do que o próprio urânio. Decide, assim, concentrar a sua investigação na pecheblenda.

Pierre Curie (1859-1906) passa a colaborar com a esposa, medindo a radiação emitida pelas sucessivas frações que Marie arduamente ia extraíndo e isolando da pecheblenda. Para o efeito, Pierre utilizou um eletrômetro piezoelétrico de precisão que ele próprio e o irmão, Jacques, tinham inventado uns anos antes (*o eletrômetro Curie*). Esse aparelho permitia medir as correntes elétricas extremamente fracas que atravessavam o ar ionizado pelo urânio e pelos compostos.

Em 1898, os Curie chegaram à descoberta de dois novos elementos emissores de radiação análoga à do urânio, mas muito mais intensa, o polônio e o rádio. Marie Curie foi quem utilizou, pela primeira vez, a palavra radioatividade para designar a propriedade de emissão desses elementos.

A Academia Sueca das Ciências atribuiu o Prêmio Nobel da Física a Henri Becquerel, Pierre Curie e Marie Curie, em 1903. Ao primeiro dos cientistas, foi reconhecida a descoberta da radioatividade natural, e, ao casal Curie, foram reconhecidos “os extraordinários serviços que prestaram com a sua investigação conjunta dos fenômenos da radiação descoberta pelo Professor Henri Becquerel”. No discurso do Prêmio Nobel, Pierre Curie refere que “o trabalho de um largo número de físicos (Meyer e Schweidler, Giesel, Becquerel, P. Curie, Mme. Curie, Rutherford, Villard etc.) mostra que as substâncias radioativas podem emitir radiação de três diferentes tipos.

O rádio e a medicina

A medicina foi um dos domínios da sociedade que mais se beneficiou da descoberta da radioatividade e dos isótopos radioativos. A Medicina Nuclear é uma especialidade médica que surgiu no decurso do desenvolvimento de instrumentação clínica que permite detectar e monitorizar os radiofármacos no corpo. A tomografia de emissão de positrões (PET, do inglês *positron emission tomography*) é, hoje, um trunfo poderosíssimo dessa área da Medicina. Os chamados marcadores, nesse caso, radioisótopos emissores de positrões, são introduzidos no corpo do paciente, e ligados às moléculas biologicamente ativas.

O marcador mais usado em PET tem sido, até a data, um derivado da glucose (18F-fluorodesoxiglucose), o qual é rapidamente captado pelas células cancerosas, permitindo a detecção e a localização dos tumores e das metástases. Possibilita, também, conhecer a atividade metabólica dos tecidos, podendo ser usado para investigar e para diagnosticar uma variedade de processos fisiológicos e patológicos.

Exemplos de radioisótopos atualmente usados em Medicina

Os radiofármacos podem ser usados para diagnóstico (imagem médica) ou como agentes terapêuticos, dependendo do radioisótopo utilizado. No diagnóstico médico, por PET e cintilografia gama, são utilizados radioisótopos, respectivamente, emissores de positrões e emissores gama. O tecnécio ^{99m}Tc , o radioisótopo mais utilizado na Medicina Nuclear (usado em cerca de 80% dos exames cintilográficos em todo mundo), é um emissor gama com meia vida de 6.01 horas, com emissão de 140 KeV, que tem as principais aplicações em imagiologia do músculo cardíaco e do esqueleto. Tem, ainda, aplicação para obtenção de imagem de outros órgãos e tecidos, como cérebro, tireoide, pulmões, fígado, baço e rins.

O ^{99m}Tc é produzido em um gerador de $^{99}\text{Mo}/m\text{Tc}$, o que permite a produção nas próprias instalações hospitalares. Recentemente, o ^{68}Ga ($t_{1/2} = 68$ min, 1.92 MeV (energia máxima)) tem vindo a ser alvo de grande interesse para aplicação em PET, podendo, também, ser produzido in loco em um gerador ($^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$). Uma grande vantagem do ^{68}Ga , por comparação com o convencional ^{18}F , é a rapidez da marcação

de moléculas. Tratando-se de um ião metálico (Ga^{3+}), forma rapidamente complexos por coordenação com ligandos adequados, enquanto o ^{18}F , por precisar ser ligado covalentemente, requer muito mais tempo para a inclusão no radiofármaco.

O ^{131}I e o ^{90}Y , dentre outros, são radioisótopos cujas características nucleares são aproveitadas para fins terapêuticos. O ^{131}I , sob a forma de iodeto de sódio, tem vindo a ser usado desde 1941 no tratamento do cancro da tireoide, devido à captação específica nas células da glândula. O mecanismo de ação consiste na libertação de partículas beta de elevada energia que induzem uma citotoxicidade localizada.

Para além da ação terapêutica, como o ^{131}I também decai por emissão de radiação gama, é possível seguir o tratamento do paciente por recurso a imagens de cintilografia gama.

Notas finais

De Marie Curie, fica, acima de tudo, a memória de um ser humano de exceção. Logo após a morte, em 1934, Einstein escreveu: "Agora que terminou a vida de uma personalidade tão notável como a da Senhora Curie, as recordações que temos dela não se devem limitar ao que os frutos do seu trabalho deram à humanidade. Os valores morais da sua personalidade excepcional têm, provavelmente, um significado mais profundo para as gerações vindouras, e para o curso da História.

FONTE: http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/14759/1/boletimSPQ_120_031_09.pdf. Acesso em: 18 fev. 2021.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu:

- O tecnécio-99m é obtido no decaimento do molibdênio-99, e o molibdênio-99 é um produto de fissão do urânio-235 em reatores nucleares.
- Como o molibdênio-99 é separado no processo de fissão, decai a um tecnécio-99m metaestável.
- O molibdênio-99 tem meia vida de 66 horas, e, através dele, é realizada a extração química do tecnécio-99m. Depois da extração o tecnécio 99m (^{99m}Tc) emite radiação γ de 140 keV, com meia vida de seis horas.
- Nos centros de Medicina Nuclear, é utilizado o gerador de tecnécio-99m para obtenção do radiofármaco.
- Para se obter o radiofármaco através do gerador de ^{99m}Tc , ocorre a desintegração do molibdênio-99, que está dentro de uma embalagem blindada, em tecnécio-99m, que deve ser transformada em uma solução injetável do radiofármaco pertecnetato de sódio (^{99m}Tc).
- É colocada, no gerador de ^{99m}Tc , uma solução de cloreto de sódio a 0,9%, que deve ser eluído em 50 segundos, através da coluna. A coluna é fechada em ambas as extremidades, e duas agulhas permitem a entrada e a saída do líquido eluente, levado ao frasco coletor na quantidade de 6 ml.
- É necessário ter cuidado no uso do pertecnetato de sódio (^{99m}Tc) em grávidas. A administração deve ser acompanhada do médico responsável pela solicitação, pelo motivo de possíveis reações no corpo da mulher que podem trazer danos ao feto.
- O gerador de tecnécio-99m deve ser armazenado dentro do setor de Medicina Nuclear, em local específico, com toda proteção, sempre em vertical, com medidor de temperatura-ambiente, que deve estar marcando sempre entre 15 a 30°C.
- A localização precisa do gerador de tecnécio-99m, dentro do setor de Medicina Nuclear, deve ser sempre no setor de preparação de radiofarmácios, e as agulhas do gerador devem estar protegidas pelas tampas protetoras.
- O flúor-18 é emissor de pósitrons e é muito utilizado na Medicina Nuclear, principalmente, no uso da tomografia por emissão de pósitrons (PET) ou PET/CT.

- O iodo 131, muito utilizado na Medicina Nuclear para terapia e cintilografia da tireoide, é obtido no decaimento do telúrio-131, que é produzido em reator nuclear. O telúrio-131 decai em Iodo-131, e o Iodo 131 decai em xenônio-131.
- O gálio-67 (citrato de gálio), muito utilizado para gerar imagens em processos inflamatórios, infecciosos ou tumorais, tem meia-vida de 78 horas, e pode ser utilizado, também, para imagens com equipamentos SPECT, além da cintilografia.
- O radioisótopo Iodo 123, no Brasil, é produzido pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) em solução de iodeto de sódio (123 I).
- É frequente o uso de radiofármacos por mulheres que estão amamentando, e, para que não ocorram problemas nas crianças que tomam o leite daquela mãe que está amamentando, foi necessário criar a classificação de risco para a utilização dos radiofármacos.

AUTOATIVIDADE



1 Para se obter o radiofármaco através do gerador de ^{99m}Tc , ocorre a desintegração do molibdênio-99, que está dentro de uma embalagem blindada, em tecnécio-99m, que deve ser transformada em uma solução injetável de um radiofármaco. Podemos dizer que esse radiofármaco é:

- a) Pertecnetato de sódio (^{99m}Tc).
- b) 2-desoxi-2- ^{18}F Flúor-D-glicose.
- c) Iodo 131 (iodeto de sódio).
- d) Gálio-67 (citrato de gálio).
- e) Iodeto de sódio (^{123}I).

2 Esse radioisótopo é emissor de pósitrons e é muito utilizado na Medicina Nuclear, principalmente, no uso da tomografia por emissão de pósitrons (PET) ou PET/CT, obtido através do bombardeamento de oxigênio-18 em um ciclotron por prótons acelerados. Podemos dizer que esse radioisótopo é:

- I- Flúor-18.
- II- Iodo 131.
- III- Gálio-67.
- IV- Iodo 123.
- V- Molibdênio-99.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a I está correta.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas a III está correta.
- d) Todas estão corretas.

3 Descreva a importância da utilização dos radiofármacos na amamentação.

4 Cite cinco radiofármacos em acordo a categoria de riscos em relação à amamentação.

MANUSEIO DE RADIOISÓTOPOS DE NÍVEIS BAIXOS E INTERMEDIÁRIOS

1 INTRODUÇÃO

A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) cita, na Norma 6.01, os “Requisitos para o Registro de Pessoas Físicas para Preparo, Manuseio de Fontes de Radiação” dos profissionais que desejam realizar o manuseio de radiofármacos na Medicina Nuclear.

A CNEN afirma que se surgir alguma dúvida em relação à norma, a pessoa pode procurar a comissão e, ainda, afirma que só a comissão pode realizar alguma alteração e substituir o que achar necessário.

Essa norma tem, como suplemento, a Norma 3.03, que tem, como objetivos, qualificar e certificar supervisores de radioproteção. Para se tornar um supervisor de radioproteção, é necessário que sejam preenchidos alguns requisitos.

De acordo com a CNEN, fonte de radiação é um aparelho ou material que é capaz de emitir radiação ionizante, e fonte radioativa é um material utilizado como fonte de radiação.

O serviço de Medicina Nuclear deve ser certificado pela CNEN, por ser uma instalação radioativa, que se utiliza e armazena elementos radioativos para uso com fins diagnósticos.

Como o radiofármaco é utilizado em grande escala no serviço de Medicina Nuclear, a definição, segundo norma da CNEN, trata-se de uma substância radioativa com propriedades físicas, químicas e biológicas que servem para ser utilizadas em seres humanos.

Para o profissional manusear radioisótopos na Medicina Nuclear, é necessário que tenha um registro concedido pela CNEN. Esse registro tem prazo de validade e a solicitação de um novo registro deve ser feita com a comissão.

A solicitação do registro deve ser realizada por um profissional de nível superior, que tenha, como foco de atuação, o uso e o manuseio de radiofármacos para diagnóstico ou para uso em terapias.

Tratando-se do registro, o profissional também pode utilizar o conselho de classe para solicitar o registro de manuseio de radiofármacos, segundo a Norma da CNEN.

2 MANUSEIO DE RADIOISÓTOPOS SEGUNDO NORMAS DA CNEN

O início de liberação para manuseio de radioisótopos em serviços de Medicina Nuclear deve passar por uma rigorosa liberação e por um treinamento específico. É necessário que o solicitante, ao manuseio desses radioisótopos, apresente:

- Registro profissional no seu conselho de classe, por exemplo, na área radiológica.
- Um requerimento disponibilizado pela CNEN.

Segue o tipo de requerimento que deve ser preenchido pelo profissional solicitante:

FIGURA 4 - REQUERIMENTO PARA MANUSEIO

	COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR DIRETORIA DE RADIOPROTEÇÃO E SEGURANÇA NUCLEAR COORDENAÇÃO GERAL DE INSTALAÇÕES MÉDICAS E INDUSTRIAIS Rua General Severiano 90, Botafogo, Rio de Janeiro/RJ CEP 22290-901 TELEFONE (0XX21) 2173-2322 FAX (0XX21) 2173-2323	
	REQUERIMENTO DE REGISTRO DE PESSOA FÍSICA PARA O PREPARO, USO E MANUSEIO DE FONTES RADIOATIVAS	
<input type="checkbox"/> Primeira Requisição		<input type="checkbox"/> Revalidação
IDENTIFICAÇÃO DO SOLICITANTE		
NOME		
ENDEREÇO		
BAIRRO	CEP	
CIDADE	ESTADO	
TELEFONE	FAX	
E-MAIL		
NACIONALIDADE		
NATURALIDADE		
SEXO	ESTADO CIVIL	
DATA DO NASCIMENTO	CPF	
Nº DO REGISTRO PROFISSIONAL		
INSTITUIÇÃO EM QUE TRABALHA (Universidade, Instituto, Centro, Departamento, Laboratório, etc.)		
ENDEREÇO		
BAIRRO	CEP	
CIDADE	ESTADO	
TELEFONE	RAMAL	FAX
E-MAIL		
Solicito inscrição no Registro de Pessoas Físicas habilitadas ao preparo, uso ou manuseio de fontes radioativas na área de atuação (vide verso)		
Nº da ÁREA	ÁREA DE ATUAÇÃO	
En caso de deferimento, declaro submeter-me às normas e demais regulamentos da CNEN.		
DATA	REQUERENTE	

FONTE: CNEN (1999, p. 9)

Como mostrado, esse é o requerimento necessário para o profissional solicitar a liberação para realizar o manuseio de radioisótopos, por exemplo, do tecnécio 99m, que é muito utilizado nos grandes centros de Medicina Nuclear.

No envio, é necessário o profissional solicitante anexar, ao requerimento, a cópia do registro profissional ou diploma reconhecido pelo Ministério da Educação (MEC), certificado de treinamento na área pretendida e comprovação do vínculo empregatício por instituição credenciada pela CNEN, como usuário (a) de fonte de radiação.

Além do preenchimento do requerimento que vimos, é necessário que o profissional solicitante, por exemplo, o médico, comprove a sua especialidade na área, com o título de especialista em Medicina Nuclear, além de ter aprovação em exame de radioproteção.

Para o profissional de nível superior manusear e preparar os radiofármacos, é necessário comprovar alguns documentos junto à CNEN, como curso de radioproteção para manuseio, preparo e uso de fontes radioativas. Esse curso deve ter carga horária mínima de 40 horas e deve ser credenciado ao Conselho Federal de Educação.

A CNEN solicita que, além do curso de radioproteção, o profissional faça um exame realizado pela CNEN para sua aprovação em quesitos de radioproteção.

O registro só é entregue a profissionais que atendem a todos os requisitos informados nos parágrafos anteriores. O registro tem validade de cinco anos, e, para revalidar, é preciso que o profissional comprove o trabalho na área específica por, pelo menos, 2,5 anos. Se não fizer essa comprovação, perde o direito de revalidar o registro.

Se o profissional não realizar o que é solicitado nas normas da CNEN, deve ter o registro cancelado, além de um novo processo para tentar conseguir o registro de volta.

Existe outra norma da CNEN, chamada 3.05, que também trata do manuseio de materiais radioativos no âmbito da Medicina Nuclear. Essa norma é chamada de "Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear", e, no texto, cita que a manipulação de radioisótopos ou radiofármacos deve ser realizada em local destinado para a atividade.

Segundo a Norma 3.05, todo procedimento realizado dentro do serviço de Medicina Nuclear deve estar de acordo com o plano de radioproteção já estipulado para o serviço, e que a manipulação deve ser realizada com alguns requisitos importantes, como:

- A manipulação de radiofármacos deve ser realizada em bancada lisa.
- Essa bancada deve ser sem ranhuras e de fácil descontaminação.
- A bancada deve ser coberta com plástico e papel absorvente e provida de blindagem específica.

No Art. 35, a Norma 3.05 cita que o IOE, que é o indivíduo ocupacionalmente exposto, manipule os radiofármacos com:

- Luvas descartáveis.
- Jaleco de manga longa.
- Dosímetro sobre o tórax.
- Dosímetro de extremidades.

O dosímetro, quando tirado do corpo do profissional exposto, deve ser mantido em área sem radiação ionizante, a chamada área livre. Como o dosímetro é levado para leitura todo mês, a troca é necessária mensalmente.

Outro ponto importante que deve ser levado em consideração por um serviço de Medicina Nuclear que utiliza fontes de radiação não seladas é, diariamente, realizar, além de registrar a monitoração de locais com suspeitas de contaminação, como as vestimentas do profissional exposto e as superfícies nas quais os elementos radioativos são manipulados. Para a monitoração, é necessário levar sempre em referência o valor obtido na área livre.

Segundo a Norma 3.01 da CNEN “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”, ninguém está autorizado a manipular fontes de radiação ionizante sem o conhecimento dos riscos, benefícios, efeitos biológicos e cuidados que devem ser realizados.

Segundo a Norma 3.01, os princípios básicos de radioproteção são otimização, justificação e limitação de dose individual. Fora esse princípio, é de extrema importância que o profissional que trabalha com a Medicina Nuclear esteja ciente de que é necessária a prática para manipulação dos radioisótopos, a fim de reduzir os riscos de contaminações radioativas e exposições sem necessidade.

Na justificação, segundo a Norma 3.01, qualquer prática que envolva exposições médicas a pacientes deve ser justificada. Por exemplo, essa prática deve trazer benefícios ao ser humano e, no caso, à Medicina Nuclear. O benefício gerado é o diagnóstico ou a terapia.

3 LIMITES DE DOSES QUE DEVEM SER LEVADOS EM CONSIDERAÇÃO QUANTO AO MANUSEIO

Os profissionais que estão habilitados pela CNEN para o manuseio de radiofármacos devem estar cientes e bem treinados para que não haja nenhum tipo de derramamento, além de contaminação, dentro do setor de Medicina Nuclear.

As doses anuais devem estar bem definidas para os profissionais que têm o dosímetro medido todos os meses, para detectar o nível de radiação a que o profissional de Medicina Nuclear é exposto. Para isso, é importante ficar atento às doses anuais estabelecidas pela CNEN.

Segue o limite de doses anuais, de acordo com a Norma 3.01 da CNEN.

FIGURA 5 – LIMITES DE DOSE ANUAIS

Limites de Dose Anuais ⁽¹⁾			
Grandeza	Órgão	Indivíduo ocupacionalmente exposto	Indivíduo do público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20 mSv ⁽²⁾	1 mSv ⁽³⁾
Dose equivalente	Cristalino	20 mSv ⁽²⁾ <i>(Alterado pela Resolução CNEN 114/2011)</i>	15 mSv
	Pele ⁽⁴⁾	500 mSv	50 mSv
	Mãos e pés	500 mSv	---

FORNE: CNEN (2014, p. 15)

Perceba os limites de doses que são utilizados pelo profissional que manuseia os radiofármacos na Medicina Nuclear. As doses não devem exceder os limites fixados no quadro no período de janeiro a dezembro do respectivo ano.

Se ocorrer um acidente, ocasionado por um derramamento do radioisótopo ou radiofármaco, é necessário tomar as seguintes ações:

- Realizar investigações para ter certeza do que realmente ocorreu.
- Levantar a dose recebida pelo paciente ou pelo profissional.
- Estudar e realizar uma reciclagem com os funcionários, intensificando as medidas de proteção.
- Submeter, para a CNEN, as causas do acidente.
- Informar, para a CNEN, as ações tomadas para resolver o acidente.
- Deixar informações ao paciente e ao médico acerca do acidente.

4 AÇÕES QUE DEVEM SER LEVADAS EM CONSIDERAÇÃO QUANTO AO MANUSEIO DE FONTES DE RADIAÇÃO

Segundo a Norma Regulamentadora de número 32 (NR 32), que aborda “Segurança e Saúde no Trabalho e Serviços de Saúde”, os profissionais que realizam trabalhos em locais de exposição de fontes de radiação devem ficar o menor tempo possível para a realização do procedimento.

Outros pontos importantes em relação ao manuseio dos radioisótopos pelo profissional, segundo a NR-32, são:

- Conhecer os riscos radiológicos provenientes do trabalho.
- Estar capacitado em proteção radiológica.
- Usar os equipamentos de proteção individual (EPI) adequados para proteção no momento do desenvolvimento do trabalho.
- Utilizar sempre o dosímetro para medir a exposição a doses ocupacionais.

Agora, é importante que o empregador, ou seja, o responsável técnico pelo serviço de Medicina Nuclear:

- Implemente medidas de proteção individuais e coletivas contra a radiação.
- Mantenha um profissional responsável pela proteção radiológica do serviço.
- Promova treinamentos de radioproteção de forma contínua para todos os trabalhadores do serviço de Medicina Nuclear.
- Informe, de forma escrita, aos trabalhadores, a proteção disponível no serviço de Medicina Nuclear para a radiação ionizante.
- Informe, aos trabalhadores, as doses mensais e os acidentes ocorridos para que tenham informação.

5 SALA DE MANIPULAÇÃO DOS RADIOISÓTOPOS

As áreas de manuseio de radioisótopos devem conter o símbolo internacional da radiação ionizante nos acessos, que devem ser controlados. As fontes devem ser identificadas com o tipo de elemento radioativo e devem estar em recipientes blindados para evitar derramamentos.

Todas as vias de circulação, dentro do serviço de Medicina Nuclear, devem ser identificadas, e paredes e pisos devem ser impermeáveis para contribuir com a descontaminação.

A sala de manipulação e armazenamento de fontes de radiação deve ter os cantos das paredes arredondados para possibilitar a descontaminação e devem dispor de pia com cuba que não exceda a profundidade de 40 cm e o acionamento para abertura das torneiras sem controle manual.

Além desses importantes itens, que devem fazer parte da sala, é necessário que existam exaustores no local de manipulação das fontes ou nas áreas dos serviços que tenham exames de ventilação pulmonar.

Não é permitido beber, comer, fumar ou repousar na sala de manuseio ou guarda de radioisótopos, como deixar ou guardar itens pessoais. Após a manipulação dos radiofármacos, os profissionais devem ser monitorados para detectar os níveis de radiação.

Segue o local de preparação dos radiofármacos no serviço de Medicina Nuclear, focando no anteparo tipo capela de chumbo:

FIGURA 6 – ANTEPARO TIPO CAPELA COM CHUMBO



FONTE: <<https://bit.ly/3yRzwlQ>>. Acesso em: 24 fev. 2021.

6 PREPARO E ADMINISTRAÇÃO DOS RADIOFÁRMACOS

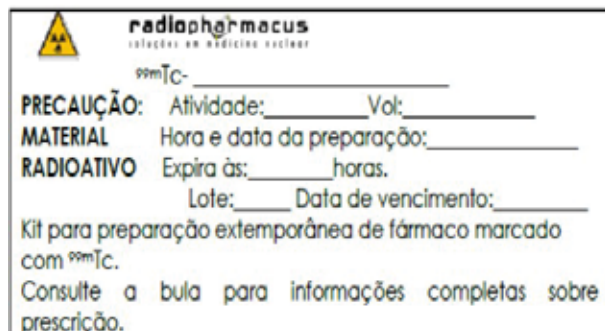
A RDC nº 38, de 2008, do Ministério da Saúde, descreve, no seu texto, a forma como devem ser realizados o preparo e a administração dos radiofármacos no serviço de Medicina Nuclear.

No item 6 em diante, é citado que:

- A seleção, programação, aquisição, recebimento, armazenamento, distribuição, dispensação e uso de medicamentos, produtos para saúde, de higiene e saneantes utilizados na preparação dos radiofármacos devem seguir as disposições da legislação sanitária vigente.
- Os radiofármacos devem ser armazenados separadamente, em local exclusivo, de modo a preservar a identidade, integridade, segurança, qualidade e atender aos requisitos de radioproteção.
- Toda e qualquer alteração observada impede a utilização do produto, devendo o fato ser comunicado, por escrito, aos responsáveis pelo setor e notificado à autoridade sanitária competente, quando pertinente.
- Devem existir procedimentos escritos e disponíveis que orientem a preparação e a administração dos radiofármacos nos serviços de Medicina Nuclear.
- A responsabilidade técnica pela preparação e administração de radiofármacos é dos profissionais com formação superior na área da saúde, com registro no respectivo conselho de classe, de acordo com competências profissionais definidas na legislação vigente.
- Os frascos preparados para unitarização das doses e as respectivas blindagens devem apresentar rótulos com as seguintes informações: nome do radiofármaco, data e hora da preparação, atividade radioativa, volume e profissional responsável pela preparação.
- O transporte do radiofármaco deve ser feito em recipientes blindados, contemplando o estabelecido no Plano de Radioproteção.
- Antes da administração do radiofármaco, devem ser conferidos: a identificação do paciente, o radiofármaco a ser administrado e a atividade.

Segue um exemplo de identificação dos radiofármacos em solicitação da RDC nº 38:

FIGURA 7 – IDENTIFICAÇÃO DO RADIOFÁRMACO



O formulário contém o seguinte conteúdo:

radiopharmacus
rotulagem em medicina nuclear

^{99m}Tc- _____

PRECAUÇÃO: Atividade: _____ Vol: _____

MATERIAL Hora e data da preparação: _____

RADIOATIVO Expira às: _____ horas.
Lote: _____ Data de vencimento: _____

Kit para preparação extemporânea de fármaco marcado com ^{99m}Tc.

Consulte a bula para informações completas sobre prescrição.

FONTE: <<https://bit.ly/3an2nv0>>. Acesso em: 24 fev. 2021.

7 BOAS PRÁTICAS DE SEGURANÇA DO PACIENTE

Já se sabe que a boa prática, dentro do serviço de Medicina Nuclear, é importante para resguardar o paciente e os profissionais que estão presentes no local. Para que isso seja realizado da melhor forma possível, é importante que seja levada em consideração o exposto pelo Ministério da Saúde, que trata das boas práticas em serviços de saúde.

Essas boas práticas devem ser iniciadas pelos pacientes, que devem ter toda a atenção do tecnólogo em radiologia que trabalha no setor de Medicina Nuclear. Seguem as estratégias de segurança:

- Todo paciente que estiver dentro do serviço deve ser identificado.
- Deve ser rotineiro o processo de higienização pelos profissionais que estão realizando trabalhos no serviço.
- Medidas de proteção devem ser colocadas em prática todos os dias, para evitar derramamentos do radiofármaco e contaminação.
- Os radiofármacos devem ser administrados de maneira segura.
- Os pacientes, depois que passarem pela administração do radiofármaco, devem ficar em sala exclusiva de espera até o momento do exame de cintilografia, através da SPECT, PET ou PET/CT.
- Pacientes que tenham problemas de locomoção devem ser atendidos e acomodados em cadeiras de rodas para evitar que caiam.

ATENÇÃO

Prezado acadêmico, você conseguiu observar quais são as ações importantes para se ter uma boa prática com o paciente dentro do serviço de Medicina Nuclear?



Agora, veremos os tipos de radioisótopos e os filhos.

8 TIPOS DE RADIOISÓTOPOS

Os tipos de radioisótopos que podem ser utilizados em exames de Medicina Nuclear são provenientes de um radioisótopo-pai. Após a meia vida longa, é obtido o radioisótopo-filho, com a meia vida mais curta acompanhada para bases de excreção pelo paciente e medidas de radioproteção dentro da Medicina Nuclear.

Nos dias de hoje, como já foi obtido um gerador que traz, dentro dele, um pai de meia vida longa e um filho de meia vida curta, encontrou-se uma maneira para aplicações clínicas.

Esse gerador, que é de tecnécio 99m , pode ser entregue em locais distantes de grandes centros comerciais, já que existem cidades bem distantes dos grandes centros, e, nesses centros, existem empresas que realizam a produção do gerador de tecnécio 99m .

Seguem os tipos de radioisótopos-pais e os respectivos filhos:

TABELA 3 – TIPOS DE RADIOISÓTOPOS E SEUS FILHOS

Radionuclídeo pai	Meia vida do pai	Radionuclídeo filho	Meia vida do filho
Molibdênio-99	66 horas	Tecnécio- 99m	6 horas
Rubídio-81	4,5 horas	Criptônio-81m	13 segundos
Germânio-68	270 dias	Gálio-68	68 minutos
Estrôncio-82	25 dias	Rubídio-82	1,3 minutos
Estanho-113	115 dias	Índio-113m	1,7 hora
Ítrio-87	3,3 dias	Estrôncio-87m	2,8 horas
Telúrio-132	3,2 dias	Iodo-132	2,3 horas

FONTE: O autor

Perceba que o radioisótopo-pai sempre tem a meia vida mais longa do que o filho, e como os filhos sempre têm meia vida curta, o uso, para práticas clínicas em Medicina Nuclear, é bem interessante, por exemplo, percebemos que o Iodo 132, que pode ser utilizado em processos terapêuticos, tem meia vida de 2,3 horas. Já o tecnécio 99m , que marca a grande maioria dos fármacos em exames de cintilografia, tem meia vida extremamente curta, em torno de seis horas. Vimos, no Tópico 3 da Unidade 1, que a maioria dos exames de diagnóstico em Medicina Nuclear utiliza o tecnécio 99m , justamente, pela meia vida ser curta.

Uma meia vida curta traz benefícios na radioproteção e, se houver um derramamento acidental do radiofármaco, já se sabe que este tem determinado tempo de emissão de radiação ativa. Isso faz com que se tomem medidas de urgência ou emergência de forma mais equilibrada.

Dentre todos os radioisótopos listados, nenhum radioisótopo-filho tem meia vida acima de sete horas. Isso faz com que o médico nuclear saiba o tempo de eliminação do radiofármaco ou radioisótopo pelo paciente. Esse radiofármaco ou radioisótopo pode ter sido utilizado na terapia ou no diagnóstico.

LEITURA COMPLEMENTAR



SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DE FRACIONAMENTO DE DOSES E TREINAMENTO DE MANIPULAÇÃO DE RADIOISÓTOPOS EM MEDICINA NUCLEAR

Aline Guerra Dytz; Marcos Alexandre Dullius; Camila e Silva Gomes

Este trabalho descreve o aprendizado prático e teórico de estudantes do curso de Física Médica da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG) acerca do fracionamento de doses de radiação, manipulação de radioisótopos e eluição de geradores de molibdênio(Mo-99)/tecnécio(Tc-99m). Esse aprendizado é resultado das práticas em um simulador de gerador, desenvolvido pelos estudantes e que usa água e corante, substituindo o material radioativo empregado nas clínicas de Medicina Nuclear. É destinado um espaço físico para simulação de um laboratório de manipulação de radioisótopos, onde os acadêmicos simulam todo o procedimento de um serviço de Medicina Nuclear, desde o recebimento do material radioativo até o descarte dos rejeitos, passando pelo preparo e aplicação do material, conforme as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Em 2007, um grupo de estudantes utilizou essa simulação como auxílio no aprendizado das técnicas laboratoriais de Medicina Nuclear. Um novo grupo iniciou atividades em março de 2008, com a proposta de estudar a distribuição de doses para os exames, além de avaliar a dosimetria interna nos casos de iodoterapia, utilizando o mesmo equipamento.

Introdução

Em 2003, foi implantada a ênfase em Física Médica no curso de Física da Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG), onde, atualmente, estão sendo desenvolvidas atividades extracurriculares voltadas para as áreas da Radiologia Médica, Mamografia, Medicina Nuclear e Radioterapia. O Laboratório de Física Médica foi inaugurado em março de 2007, e está sendo utilizado, atualmente, no desenvolvimento de pesquisa e treinamento da simulação de eluição de geradores de molibdênio(mo-99)/tecnécio(99m); simulação de fracionamento e manipulação de atividades de radioisótopos/doses de radiação e simulação de depósito de rejeitos radioativos em Medicina Nuclear. As pesquisas realizadas para o desenvolvimento das atividades estão sendo implantadas como projetos de extensão universitária e atividades curriculares da disciplina de Estágio em Física da Medicina Nuclear.

Segundo as Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, nenhuma pessoa está autorizada a manipular fontes de radiação ionizante sem o devido conhecimento de riscos, benefícios, cuidados e efeitos biológicos, e sem assegurar os princípios de

radioproteção: otimização; justificção e limitaço de dose individual. A partir desse pressuposto, os profissionais que atuam em um Servio de Medicina Nuclear necessitam, além de conhecer os requisitos de proteço radiológica envolvidos no fracionamento e na administraço das doses diagnósticas ou terapêuticas, dispor de prática na manipulaço dos radioisótopos, reduzindo os riscos de contaminaço radioativas e exposiço desnecessárias. Uma das atividades dos físicos em Medicina Nuclear  zelar pela proteço radiológica, por meio do cumprimento do plano de radioproteço, além de realizar o levantamento radiométrico diário nos servios de Medicina Nuclear, identificando pontos de contaminaço radioativa em objetos e em equipamentos e nos prrios profissionais envolvidos. A correta manipulaço dos radioisótopos, a observância dos procedimentos para eluiço de geradores e o fracionamento das doses de radiaço trazem benefcio para os profissionais envolvidos, sendo responsabilidades do físico, capacitando-o no controle e na orientaço quanto a esses procedimentos, de modo a assegurar os cumprimentos dos princípios de proteço radiológica e atendimento ao plano de proteço radiológica do estabelecimento que opera com as substâncias radioativas não seladas. A prática, no fracionamento e na manipulaço de radioisótopos, pode agilizar procedimentos de controle de qualidade de equipamentos em Medicina Nuclear (dos contadores de dose e das gama-câmaras).

Objetivos

- Construir um simulador de gerador Mo-99/Tc-99m sem uso de substâncias radioativas.
- Simular um Servio de Medicina Nuclear.
- Propiciar conhecimentos práticos, associados aos conhecimentos teóricos com ênfase em: eluiço de geradores para Medicina Nuclear, fracionamento de doses de radiaço, manipulaço de radioisótopos e prática simulada de proteço radiológica em Medicina Nuclear.

Metodologia

O aprendizado prático e teórico proposto é acerca do fracionamento de doses de radiaço, manipulaço de radioisótopos e eluiço de geradores de molibdênio/tecnécio. Esse aprendizado é resultado das práticas em um simulador de gerador, desenvolvido por alunos do curso, que usa água e azul de metileno como corante, substituindo o material radioativo utilizado nas clínicas de Medicina Nuclear. Esse simulador foi feito com um tubo de PVC de, aproximadamente, 20 cm de diâmetro, com duas extremidades tmm feitas de PVC, com, aproximadamente, cinco cm de diâmetro, sendo que, na extremidade de entrada, coloca-se um frasco estéril com volume padronizado de soro e, na extremidade de saída, coloca-se o frasco a vácuo. O frasco a vácuo faz com que a soluço saia do frasco estéril, atravesse a coluna e chegue ao frasco a vácuo. Os frascos (de soro e a vácuo) foram doados pelo Hospital onde os alunos realizam Estágio Curricular em Medicina Nuclear.

Foi destinado um espaço físico para simulação de um laboratório de manipulação de radioisótopos, porém, ressalta-se que não se utiliza material radioativo no laboratório. Assim, é possível desenvolver as práticas propostas, possibilitando o aperfeiçoamento na manipulação dos radioisótopos, buscando evitar contaminações e minimizando exposições às radiações ionizantes. Entretanto, o uso do corante (azul de metileno) permite a visualização das supostas contaminações e a simulação na realização dos métodos de descontaminação, como o uso da técnica do esfregaço. Com o auxílio de um contador do tipo Geiger-Müller, são realizadas as simulações para o levantamento radiométrico e o aprendizado quanto ao princípio de funcionamento dos detectores, características de detecção, estabilidade e estatísticas de contagens e utilização desse tipo de contador para aplicações em um serviço de Medicina Nuclear.

O corante azul de metileno utilizado, atualmente, tem se mostrado muito útil, por ter uma impregnação nos materiais e é de fácil aquisição, permitindo a realização dos métodos de descontaminação propostos para o treinamento. Além disso, a coloração permite a visualização de respingos ou derramamentos do material na simulação de eluição do gerador ou no fracionamento e na manipulação das substâncias supostamente radioativas.

Inicialmente, os acadêmicos são orientados a entrar no laboratório como se estivessem entrando em um laboratório de manipulação de radioisótopos. São feitas observações, como prender os cabelos (quando for o caso), usar guarda-pó e dosímetro e ter cuidado com o manuseio de luvas descartáveis após o uso. Inclusive, não é permitido o consumo de alimentos no laboratório, dentre outras observações pertinentes ao manuseio e ao contato com fontes não seladas, como manter a maior distância da fonte, manipulá-la no menor tempo possível e utilizar as blindagens disponíveis.

Os acadêmicos são submetidos a uma simulação de fracionamento e manipulação de radioisótopos, familiarizando-se com o material que devem utilizar. Ressalta-se não haver protetor plumbífero de frasco, além de seringa, mas os alunos passam a conhecê-los e a utilizá-los quando realizam estágio curricular. Inicialmente, recebem um roteiro de um determinado radioisótopo, sendo que cada acadêmico experimenta a prática para cada um dos roteiros propostos, uma vez que estes são elaborados para materiais radioativos diferentes, com meias vidas distintas, atividades variadas e aplicações diferenciadas.

Ao preencherem o primeiro roteiro, os acadêmicos apresentam dúvidas acerca dos procedimentos práticos e insegurança na realização das atividades propostas, mas se percebe, claramente, o domínio, além da segurança no desenvolvimento das propostas, após passarem por todos os roteiros. Os próprios acadêmicos sugerem outras possibilidades no treinamento em função das dúvidas esclarecidas, almejando idealizar outras possibilidades acerca do fracionamento e da manipulação, demonstrando interesse e disponibilidade para praticarem mais e adquirirem destreza no manuseio de fontes radioativas não seladas.

Nessas simulações, o corante permite visualizar se houve algum respingo do material, assim, são tomadas as medidas simuladas para descontaminação ou isolamento, se for o caso. Foram, até o presente momento, elaborados quatro roteiros, considerando os radioisótopos:

- Tc - 99m: é simulada a eluição do gerador e o acadêmico realiza o fracionamento, separando uma determinada atividade em um frasco ou em uma seringa. A simulação é feita para um gerador, cuja atividade, no dia do suposto recebimento, é de $3,7 \times 10^{10}$ Bq. Nesse ponto, ele é orientado a respeito da recepção do material, leitura da taxa de contagem a 1 m, verificando os dados contidos na documentação do gerador e para comparar com a liberação do invólucro do gerador, após a utilização. Os acadêmicos são orientados a monitorar todo material que sai do laboratório de manuseio de radioisótopos para garantir que nenhum material radioativo seja liberado sem estar em conformidade com a legislação vigente, além de aprenderem a respeito das fontes utilizadas nos controles de qualidade das gama câmaras e dos contadores de dose.
- Iodo - 131 para terapia: o acadêmico identifica uma data de calibração, calcula a atividade na hora do fracionamento e simula uma administração de dose terapêutica. Na maioria das simulações, o acadêmico possui, supostamente, uma atividade de $7,4 \times 10^9$ Bq calibrada para quarta-feira às 14h, tendo que utilizar, para terapia, $3,7 \times 10^9$ Bq na terça às 10h, supondo o restante para uso em diagnóstico. Neste ponto, ele é orientado quanto ao procedimento de transporte do material dentro do hospital, da administração da dose, controle radiométrico do paciente e liberação quanto à taxa de exposição do paciente a 1m e os cálculos envolvidos para determinação da atividade, com ênfase no fato de que o paciente não é uma fonte pontual. Está sendo estudada uma maneira de realizar uma simulação de administração de dose terapêutica em função do espaço físico disponível, uma vez que, na simulação, pretende-se seguir os procedimentos de antes da internação, durante e após a liberação do paciente.
- Iodo - 131 para diagnóstico: o acadêmico identifica uma data de calibração, calcula a atividade na hora do fracionamento e simula um fracionamento com atividade de $3,7 \times 10^{10}$ Bq para o controle de qualidade de uma gama câmara ou para administração em paciente. Neste ponto, são simulados procedimentos quanto aos riscos de exposição dos funcionários e simulação de descontaminação, devido a um acidente proposto no treinamento, geralmente, inesperado pelos acadêmicos. Também são simulados pontos que ficam isolados, sem condições de descontaminação, em função da concentração.
- Gálio - 67 para diagnóstico: o acadêmico identifica uma data de calibração, calcula a atividade na hora do fracionamento e simula um fracionamento com atividade de $1,85 \times 10^8$ Bq para administração no paciente. Neste ponto, a ênfase é dada para a segregação de rejeitos radioativos, e os acadêmicos segregam os rejeitos em função da meia vida dos radioisótopos, catalogando-os e fazendo as devidas anotações nas embalagens dos rejeitos.

Com esses roteiros, para os diferentes materiais radioativos utilizados na Medicina Nuclear, após os acadêmicos realizarem diferentes simulações, desde a eluição e/ou manipulação dos radioisótopos e controle de radioisótopos e os respectivos resíduos,

simulando situações com meias vidas e atividades diferenciadas, avaliam e entendem melhor a segregação e o controle de rejeitos radioativos, conforme as normas da CNEN.

Além desses roteiros, são utilizados formulários para o controle simulado dos rejeitos radioativos gerados em função do treinamento de manipulação dos radioisótopos. Esses formulários são baseados nas normas de gerência de rejeitos radioativos – CNEN-NE – 6.05.

FORMULÁRIO PARA CONTROLE DE RADIOFÁRMACOS

CONTROLE DE VARIAÇÕES DO INVENTÁRIO DE RADIONUCLÍDEOS											
REJEITOS											
CATEG.	ISÓTOPO	ELIMINADOS						ARMAZENADOS			
		REDE DE LIXO REJEITOS SÓLIDOS			REDE DE ESGOTOS REJEITOS LÍQUIDOS			LOCAL			
		DATA	ATIV. (Bq)	MASSA (Kg)	DATA	Ativ (Bq)	MASSA (Kg)	Vol (l)	DATA	PROVAVEL LIBERAÇÃO	Ativ (Bq)

FONTE: <<https://bit.ly/3Rdw5Dg>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

Resultados

Com este treinamento, os alunos percebem as dificuldades na manipulação dos radioisótopos e visualizam os supostos pontos de contaminação, devido a esse procedimento, para avaliarem a importância do levantamento radiométrico e da proteção radiológica. Além disso, vivenciam a dificuldade quanto ao espaço para armazenamento dos rejeitos radioativos e começam a articular possibilidades de minimização dos rejeitos, entendendo a necessidade da segregação adequada dos rejeitos antes de armazená-los.

Os roteiros e os formulários de rejeitos radioativos foram baseados em procedimentos de um serviço de Medicina Nuclear. Os acadêmicos tomam ciência dos procedimentos adotados por um serviço de Medicina Nuclear desde o pedido de material radioativo e as especificações necessárias para esse procedimento até a liberação do material após o decaimento.

FONTE: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/091/46091326.pdf. Acesso em: 4 fev. 2021.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você aprendeu:

- A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) cita, na Norma 6.01 “Requisitos para o Registro de Pessoas Físicas para o Preparo, Manuseio de Fontes de Radiação”, o registro dos profissionais que desejam realizar o manuseio de radiofármacos em Medicina Nuclear.
- A Norma 3.03, que é um suplemento da Norma 6.01, tem, como objetivos, qualificar e certificar supervisores de radioproteção. Para se tornar um supervisor de radioproteção, é necessário que sejam preenchidos alguns requisitos.
- De acordo com a CNEN, fonte de radiação é um aparelho ou material que é capaz de emitir radiação ionizante, e fonte radioativa é um material utilizado como fonte de radiação.
- O serviço de Medicina Nuclear deve ser certificado pela CNEN, por ser uma instalação radioativa que utiliza e armazena elementos radioativos para uso com fins diagnósticos.
- Para o profissional manusear radioisótopos na Medicina Nuclear, é necessário que haja um registro concedido pela CNEN. Esse registro tem prazo de validade, que deve ser solicitado junto à comissão.
- A solicitação do registro deve ser realizada por um profissional de nível superior, que tenha, como foco de atuação, o uso de radiofármacos para diagnóstico, ou para uso em terapias.
- O início da liberação para manuseio de radioisótopos em serviços de Medicina Nuclear deve passar por uma rigorosa liberação e por um treinamento específico.
- Para profissionais de nível superior, manusear e preparar o radiofármaco são atividades necessárias, além de comprovar alguns documentos junto à CNEN. Como um curso de radioproteção para manuseio, preparo e uso de fontes radioativas, deve ter carga horária mínima de 40 horas, e deve ser credenciado ao Conselho Federal de Educação.
- O registro só é entregue a profissionais que contemplam todos os requisitos informados nos parágrafos anteriores. Tem validade de cinco anos, mas é preciso, para revalidar o registro, que o profissional comprove o trabalho na área específica, pelo menos, por 2,5 anos. Se não fizer essa comprovação, deve perder o direito de revalidar o registro.
- A Norma CNEN 3.05 trata do manuseio de materiais radioativos no âmbito da Medicina Nuclear. Essa Norma é chamada de “Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear”, e cita que a manipulação de radioisótopos ou de radiofármacos deve ser realizada em local destinado para a atividade.

- O dosímetro, quando tirado do corpo do profissional exposto, deve ser mantido em área sem radiação ionizante, a chamada área livre. Como o dosímetro é levado para leitura todo mês, a troca é necessária mensalmente.
- O serviço de Medicina Nuclear deve levar em consideração que as fontes de radiação utilizadas não seladas precisam, diariamente, ser registradas, além da monitoração de locais com suspeita de contaminação, como o corpo do profissional exposto, vestimentas, e superfícies nas quais os elementos radioativos são manipulados. Ainda, é necessário levar sempre em referência o valor obtido na área livre.
- Segundo a Norma 3.01 da CNEN “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”, ninguém está autorizado a manipular fontes de radiação ionizante sem o conhecimento dos riscos e dos benefícios, efeitos biológicos e cuidados.
- Na justificção, segundo a Norma 3.01, qualquer prática que envolva exposições médicas a pacientes deve ser justificada, por exemplo, essa prática deve trazer benefícios ao ser humano, no caso, na Medicina Nuclear, o benefício gerado é o do diagnóstico ou terapia.
- As doses anuais devem estar bem definidas para os profissionais que têm o dosímetro medido todos os meses, para detectar o nível de radiação.
- Segundo a Norma Regulamentadora de número 32 (NR 32), que aborda “Segurança e Saúde no Trabalho e Serviços de Saúde”, os profissionais que realizam trabalhos em locais de exposição de fontes de radiação devem ficar o menor tempo possível para a realização do procedimento.
- As áreas de manuseio de radioisótopos devem conter o símbolo internacional da radiação ionizante nos acessos que devem ser controlados. As fontes devem ser identificadas com o tipo de elemento radioativo e devem estar em recipientes blindados, para evitar derramamentos.
- A sala de manipulação e de armazenamento de fontes de radiação deve ter os cantos das paredes arredondados para possibilitar a descontaminação, e devem dispor de pia com cuba que não exceda a profundidade de 40 cm, além do acionamento para a abertura das torneiras sem controle manual.
- É necessário que existam exaustores no local de manipulação das fontes ou nas áreas dos serviços que tenham exames de ventilação pulmonar.
- Não é permitido beber, comer, fumar ou repousar na sala de manuseio ou guarda de radioisótopos, além de deixar ou guardar itens pessoais.

AUTOATIVIDADE



1 Para obter o registro para o manuseio de radioisótopos, é necessário ter o registro estipulado por uma Norma da CNEN. Podemos dizer que essa norma é a:

- a) 6.01.
- b) 3.03.
- c) 3.01.
- d) 3.05.
- e) NR-32.

2 Segundo a Norma da CNEN 3.01, ninguém está autorizado a manipular fontes de radiação ionizante sem o conhecimento dos riscos e dos benefícios, efeitos biológicos e cuidados. Podemos dizer que o nome dado a essa norma é:

- I- Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica.
- II- Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear.
- III- Requisitos para o Registro de Pessoas Físicas para o Preparo, Manuseio de Fontes de Radiação.
- IV- Segurança e Saúde no Trabalho e Serviços de Saúde.
- V- RDC n° 38, de 2008.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a I está correta.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas a III está correta.
- d) Todas estão corretas.

3 Cite três radionuclídeos-pai e as respectivas meia vidas.

4 Cite três radionuclídeos-filho e as respectivas meia vidas.

DOSIMETRIA E RADIOISÓTOPOS

1 INTRODUÇÃO

Prezado acadêmico, neste tópico, veremos a importância da dosimetria na utilização dos radioisótopos, para uso no diagnóstico ou para uso nas terapias. Seja qual for das duas modalidades utilizadas, a exposição do usuário à radiação ionizante existe.

Além dos pacientes que são expostos à radiação, os trabalhadores que fazem o preparo dos radiofármacos, ou que realizam a administração, estão expostos aos riscos da exposição ou da contaminação pela radiação ionizante.

O risco de manuseio de fontes não seladas, no caso das fontes utilizadas na Medicina Nuclear, ou seja, daquelas fontes de radiação que não são encapsuladas, é que podem contaminar ambientes, fazendo com que ocorra a contaminação de pacientes ou profissionais que ali trabalham, pelas vias oral e nasal. Assim, cuidados de proteção às radiações devem ser redobrados, fazendo com que as doses recebidas sejam estimadas para trazer benefícios nas aplicações.

Uma maneira de garantir que as doses sejam administradas com segurança é fazer com que as exposições sejam muito baixas, e, para isso, é necessário que estudos forneçam informações da quantidade do radioisótopo que é incorporada em determinado órgão ou tecido e, a partir daí, calcular a dose absorvida.

As doses podem ser estimadas por meio de medições indiretas, a partir de cavidades do corpo humano, por cálculos e pela pele. Alguns modelos de softwares podem ser utilizados para calcular as doses, como o modelo de Monte Carlo, que utiliza a energia da radiação para o cálculo da dose.

Como não são utilizados pacientes para estudos do cálculo de doses, os fantasmas servem para simular a presença de pessoas. Esses fantasmas são conhecidos como antropomórficos, ou seja, de aspecto ou semelhança com a aparência humana.

Os fantasmas, utilizados para dosimetria de doses na Medicina Nuclear, devem ter proporções idênticas ao corpo humano, por exemplo, as partes devem ser idênticas com o tórax, a cabeça e a região abdominal.

2 DOSIMETRIA NA MEDICINA NUCLEAR, SEGUNDO AS NORMAS

A dosimetria deve ser levada em consideração na Medicina Nuclear, já que os exames e as terapias são realizados com a utilização de radioisótopos. A norma da CNEN 3.05, que cita os requisitos de proteção radiológica na Medicina Nuclear, no seu texto, informa pontos importantes das doses que devem ser utilizadas dentro do serviço.

A norma 3.05 da CNEN destaca as doses em pacientes, com os seguintes aspectos:

- As doses administradas aos pacientes injetados devem ser calculadas, considerando peso, superfície corporal exposta ou outros critérios definidos em procedimentos médicos devidamente justificados.
- A administração de doses terapêuticas ao paciente, injetado e submetido à terapia com $I-^{131}$ e atividade superior a 1850 MBq, deve ser realizada no quarto, para terapia, especificada no Plano de Proteção Radiológica.

A norma 3.05 da CNEN destaca, ainda, as doses no trabalhador, com os seguintes aspectos:

- As lactantes sejam instruídas, por escrito e verbalmente, acerca dos cuidados necessários à proteção radiológica a serem adotados antes, durante e após o procedimento médico, a fim de prevenir a exposição do lactente a doses acima dos limites estabelecidos para indivíduos do público, por exposição e, quando isso for aplicável, incorporação, conforme disposto nas Resoluções da CNEN.
- Notificar cada indivíduo, ocupacionalmente exposto, por escrito e mensalmente, acerca das doses resultantes da monitoração individual, corpo inteiro e extremidade, quando isso for aplicável.
- Comprovar o recebimento da notificação de doses resultantes da monitoração individual mensal do corpo inteiro e de extremidades, quando isso for aplicável.
- Sistema de exaustão de ar, projetado de maneira a manter, no local de manipulação do radiofármaco, os níveis de doses para indivíduos ocupacionalmente expostos dentro dos níveis operacionais estabelecidos pelo Serviço de Medicina Nuclear.
- A sala para realizar estudos de ventilação pulmonar deve possuir sistema de exaustão de ar projetado de maneira a manter, no local de manipulação do radiofármaco, os níveis de doses para os indivíduos ocupacionalmente expostos dentro dos níveis operacionais estabelecidos pelo Serviço de Medicina Nuclear.
- Com relação às exposições causadas por uma determinada fonte associada a uma prática, a proteção radiológica deve ser otimizada de forma que a magnitude das doses individuais, o número de pessoas expostas e a probabilidade de ocorrência de exposições se mantenham muito baixos, tendo em conta os fatores econômicos e sociais.
- No processo de otimização, deve ser observado que as doses, nos indivíduos, decorrentes de exposição à fonte, devem estar sujeitas às restrições de dose relacionadas a essa fonte.

Perceba quanta informação referente às doses é mencionada na Norma 3.05, da CNEN. Além de mencionar limites de doses para terapia e tratamento dos pacientes, ainda é mencionado o limite de doses para os indivíduos ocupacionalmente expostos, que são os trabalhadores do serviço.

Além das informações citadas na Norma 3.05, a CNEN ainda publicou mais informações em relação às doses, como as Posições Regulatórias da Norma 3.01:

- POSIÇÃO REGULATÓRIA 3.01/011:2011, que trata dos coeficientes de dose para exposição ao público.
- POSIÇÃO REGULATÓRIA 3.01/010:2011, que trata dos níveis de dose para notificação para a CNEN.

Perceba que a posição regulatória 3.01/010:2011 trata de níveis de doses que podem ser obtidos dentro do serviço de Medicina Nuclear e que devem ser notificados para a CNEN, para que a comissão tome as ações necessárias, para que não mais aconteçam esses níveis que, geralmente, estão acima do estipulado.

3 TECNÉCIO 99M

Segundo o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), o gerador de tecnécio 99m deve ter a dosimetria bem estabelecida, pois o uso, sem os limites de doses estabelecidos, pode trazer riscos ao paciente que é administrado e ao profissional que está exposto ao radioisótopo.

Como o decaimento do tecnécio 99m se dá em seis horas, a energia gama desse radioisótopo fica em torno de 141,0 KeV. As doses de radiação que são absorvidas (mGy/MBq) por um paciente com peso de 70Kg após a administração intravenosa de tecnécio 99m serão mostradas a seguir.

TABELA 4 – DOSES RECEBIDAS POR PACIENTE DE 70 KG

Órgãos	Dose absorvida (mGy/MBq)	
	Adulto	Adulto
Suprarrenais	0,0036	0,0036
Parede da bexiga	0,019	0,019
Superfície óssea	0,0039	0,0039
Mama	0,0023	0,0023
TGI	0,029	0,029
Parede do intestino delgado	0,018	0,018
Cólon ascendente	0,062	0,062
Cólon descendente	0,022	0,022
Rins	0,005	0,005
Fígado	0,0039	0,0039
Pulmões	0,0027	0,0027
Ovários	0,01	0,01
Pâncreas	0,0059	0,0059

Glândulas salivares	0,0093	0,0093
Medula óssea	0,0061	0,0061
Baço	0,0044	0,0044
Testículos	0,0027	0,0027
Tireoide	0,023	0,023
Útero	0,0081	0,0081
Outros	0,0034	0,0034
Dose efetiva	0,013	0,013

FONTE: Adaptada de ICRP-53 (1987)

Veja que a dose efetiva não pode ultrapassar 0,013 para um paciente de 70kg. Essa dose efetiva foi obtida através de pesquisas. A Comissão Internacional de Proteção Radiológica (ICRP) informa, na ICRP-53 (1987), que o cálculo de dose absorvida corresponde ao colocado na expressão 1:

$$D_T = \sum_s D (T \leftarrow S) \quad (1)$$

D_T é a média da dose absorvida e T é um órgão ou tecido-alvo. $D (T \leftarrow S)$ é a soma das contribuições decorrentes de transformações nucleares em vários órgãos de origem.

Agora, para uso do pertecnetato de sódio (^{99m}Tc), durante uma cistografia, as doses recomendadas em indivíduos com boa saúde é de:

- Rins: doses de 0,02 a 0,4(cGy/MBq).
- Ovário: doses de 1- 2 (cGy/MBq).
- Bexiga: doses de 18 - 27 (cGy/MBq).
- Testículos: < 1 - 2 (cGy/MBq).

4 IODO 123

Uma dose de 3,7 MBq, administrada via oral, para indivíduos sadios, pesando até 70 kg, é absorvida pelos órgãos, mas levando sempre em consideração a captação pela tireoide.

TABELA 5 – DOSE ABSORVIDA, CONFORME CAPTAÇÃO, PELA TIREOIDE

Órgão ou tecido	Dose absorvida conforme captação pela tireoide (mGy/MBq)		
	5 %	15 %	25 %
Tireoide	0,63	1,9	3,2
Parede do estômago	0,068	0,068	0,068
Parede do Intestino Grosso	0,011	0,011	0,011

Intestino Delgado	0,043	0,043	0,043
Rins	0,012	0,010	0,011
Medula óssea	0,009	0,009	0,01
Fígado	0,0062	0,0062	0,0063
Testículos	0,0055	0,0053	0,0052
Ovários	0,012	0,012	0,011
Útero	0,016	0,015	0,014
Bexiga	0,085	0,076	0,069
Outros tecidos	0,0063	0,0068	0,0074

FONTE: IPEN (2015, p. 4)

Perceba que a tireoide recebe sempre mais dose e que existe mudança na quantidade de outros órgãos ou não, de acordo com a porcentagem de dose recebida pela glândula. Por exemplo, na captação de 25% pela tireoide, só existe mudança de dose absorvida nos rins, medula óssea, fígado, testículos, ovários, útero, bexiga, mas alguns órgãos, aqui citados, têm diferença de captação da dose absorvida já na captação de 5% pela glândula.

5 IODO 131

A dosimetria do Iodo¹³¹ (iodeto de sódio) deve levar em consideração a dose dos órgãos que recebem a radiação, para o benefício de se sobressair aos riscos e, para que isso ocorra, é necessário ajustar a dose recebida pelo paciente, levando em consideração o tamanho da tireoide, que pode ser detectado através de exames de imagem, como a ultrassonografia. Contudo, não deve ser levado só em consideração o tamanho da glândula, mas a meia vida do radiofármaco e a patologia do paciente. Em uma dose de 3,7 MBq, administrada por via oral, a distribuição da dose entre os órgãos será demonstrada a seguir.

TABELA 6 – CAPTAÇÃO DA TIREOIDE POR ÓRGÃOS

Órgão ou tecido	Captação pela tireoide (mGy/MBq)		
	5 %	15 %	25 %
Tireoide	72	210	360
Parede do estômago	0,45	0,46	0,46
Medula óssea	0,038	0,054	0,07
Fígado	0,03	0,032	0,035
Testículos	0,029	0,028	0,027
Ovários	0,044	0,043	0,043
Bexiga	0,58	0,52	0,46

FONTE: IPEN (2015, p. 5)

Note que, com o I^{131} , a captação da dose chega a 360 em diferença ao I^{123} , mostrando que a captação do I^{131} pela tireoide é maior do que o I^{123} . Na parede do estômago, existe diferença nas porcentagens da dose absorvida quando a administração, por via oral, é do I^{131} , mas essa diferença só é vista em 5%, já que, em 15% e 25%, a dose absorvida pela parede do estômago se mantém.

Perceba que, na medula óssea, a dose absorvida diminui quando existe uma captação de 25% pela glândula tireoide. Já no fígado, quanto maior é a captação da tireoide, maior é a dose absorvida.

É importante citar que a dose absorvida pelo paciente pode ser diminuída através da ingestão de líquidos, forçando a diurese e eliminando, de forma ampliada, o radiofármaco pelo organismo. Para que essa ação ocorra, é importante o médico nuclear passar as informações através de prescrição ao paciente que foi submetido ao exame.

6 GÁLIO-67

O gálio 67 (citrato de gálio) tem a dose absorvida, distribuída em diversos órgãos e tecidos. É importante que, em cada cintilografia que for solicitada com o uso desse radiofármaco, os profissionais envolvidos saibam acerca da distribuição.

Segundo a Comissão Nacional de Proteção Radiológica (ICRP 53) (1987), a dose absorvida, no adulto, é distribuída da seguinte forma:

TABELA 7 - DOSE ABSORVIDA DE GÁLIO EM ADULTO

ORGÃO	DOSE ABSORVIDA NO ADULTO (mGy/MBq)
Adrenais	0,14
Parede da Bexiga	0,081
Superfície Óssea	0,59
Mama	0,062
Parede do Estômago	0,072
Intestino delgado	0,059
Parede do Intestino Grosso Superior	0,12
Parede do Intestino Grosso Inferior	0,20
Rins	0,11
Fígado	0,12
Pulmões	0,065
Ovários	0,082
Pâncreas	0,083
Medula Óssea	0,19
Baço	0,15
Testículos	0,057
Tireoide	0,056
Útero	0,079
Outros órgãos	0,063
Dose Efetiva (mSv/MBq)	0,12

FONTE: ICRP (1987, p. 3)

Perceba que a captação (dose absorvida) do gálio 67, na superfície óssea, é maior do que em qualquer outra parte do corpo humano. É por isso que o gálio 67 é excelente no diagnóstico inflamatório ósseo ou em tumores ósseos.

7 CALIBRADOR DE DOSE

Os serviços de Medicina Nuclear utilizam um calibrador de dose para ajustar as doses a serem administradas nos pacientes para os exames. O curiômetro, como também é chamado, tem um papel de trazer controle de qualidade nas doses utilizadas no serviço de Medicina Nuclear.

O curiômetro consiste em uma câmara de ionização do tipo poço, que é unida a um equipamento digital, que fornece as medidas das unidades de radioatividade. A Norma 3.05, da CNEN, mostra, no anexo V, os testes de controle de qualidade que necessitam ser realizados no medidor de atividade.

Seguem os testes que devem ser realizados no curiômetro para que a calibração da dose seja eficiente.

FIGURA 8 – TESTES DE CONTROLE DE QUALIDADE NO CALIBRADOR DE DOSE

Teste	Periodicidade		Objetivo
Repetibilidade	A	D	Verificar a constância na resposta do equipamento para diferentes fontes de referência, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 5\%$ (cinco por cento).
Ajuste do zero	A	D	Verificar e ajustar o "zero" do calibrador de dose, se o equipamento dispuser dessa função.
Radiação de fundo	A	D	Verificar a radiação de fundo devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 20\%$ (vinte por cento).
Alta voltagem	A	D	Verificar a tensão de entrada, quando disponível, no calibrador de dose, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 1\%$ (um por cento).
Exatidão	A	S	Verificar a exatidão nas medidas de um calibrador de dose através da utilização das fontes de referência, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 10\%$ (dez por cento).
Precisão	A	S	Verificar a precisão nas medidas de um calibrador de dose através da utilização das fontes de referência, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 5\%$ (cinco por cento).
Linearidade	A	An	Verificar a linearidade nas medidas de um calibrador de dose através da utilização de uma fonte de meia vida curta, devendo as medidas estar dentro de um intervalo de $\pm 10\%$ (dez por cento).
Teste de geometria	A	An	Verificar se os fatores de calibração do equipamento para recipientes e volumes diferentes daqueles usados nos testes usuais estão corretos.

FONTE: CNEN (2013, p. 24)

A periodicidade dos testes corresponde às siglas foram expressas na figura anterior. A tradução dessas siglas corresponde a:

- Aceitação (A): devem ser realizados os testes após serviços de manutenção ou correção, ou se os valores de tolerância estiverem fora dos valores de referência.
- Diário (D).
- Semestral (S).
- Anual (An).

ATENÇÃO

Perceba quais são os testes diários que devem ser realizados no calibrador de dose (curiômetro).



Agora, para que não tenha dúvida acerca do equipamento que calibra as doses no serviço de Medicina Nuclear, apresentaremos o calibrador de dose (curiômetro).

FIGURA 9 – CALIBRADOR DE DOSE



FONTE: <<https://capintec.com/product/crc-55tr-dose-calibrator/>>. Acesso em: 4 fev. 2021.

Esse calibrador de dose mostrado tem uma tela sensível ao toque e colorida. A câmara, que é o cilindro que observamos ao lado da tela, é capaz de medir, com alta precisão, uma dose de até 6 Ci, que corresponde a 250 GBq.

Os dados do radionuclídeo medido podem ser inseridos por meio da tela de toque, já que o equipamento tem 80 radionuclídeos já programados e os testes de controle de qualidade podem ser realizados de forma automatizada.

ATENÇÃO

Percebeu que os calibradores de dose atuais têm diversos recursos que servem para trazer rapidez às etapas até o momento do exame?



LEITURA COMPLEMENTAR



DESEMPENHO DE CURIÔMETROS UTILIZADOS EM SERVIÇOS DE MEDICINA NUCLEAR

Alessandro M. da Costa e Linda V. E. Caldas

Resumo

Este trabalho mostra os resultados dos testes de controle de qualidade realizados em dois modelos de curiômetros utilizados em uma Clínica de Medicina Nuclear de São Paulo. Um modelo utiliza uma câmara de ionização do tipo poço e, o outro, tubos Geiger-Müller em configuração de poço. Foram utilizadas fontes de referência de Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137. Utilizou-se, também, uma fonte não selada de Tecnécio-99m. A partir desses testes, foi comparado o desempenho dos dois modelos de curiômetros.

Palavras-chave: Curiômetro. Radiofármaco. Calibração.

Introdução

Os Serviços de Medicina Nuclear fazem uso de curiômetros, também chamados de calibradores de dose, para medir a atividade de radiofármacos administrados em pacientes para propósitos terapêuticos e/ou diagnósticos. A unidade SI de atividade é o becquerel (Bq). Um Bq é equivalente a uma taxa de desintegração de um átomo por segundo, e é, portanto, uma quantidade muito pequena. Quantidades, geralmente, administradas para propósitos diagnósticos, são da ordem de kBq e MBq. Para propósitos terapêuticos, atividades da ordem de GBq são administradas.

A norma CNEN-NN-3.05 "Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear" define o termo curiômetro (calibrador de dose) como o instrumento destinado a medir a atividade de radionuclídeos utilizados na Medicina Nuclear. O termo dose tem uma definição quando aplicado às grandezas de radiação e, outra, quando aplicado no sentido médico. Deve ser interpretado, nesse caso, como a quantidade de radiofármaco prescrita, e não como a grandeza de radiação da dose absorvida. Pelo motivo de a Medicina Nuclear ser uma especialidade que abrange medicina e radiação, a popularização do termo calibrador de dose é infeliz.

Um calibrador de dose consiste em uma câmara de ionização do tipo poço e em um eletrômetro com mostrador digital que permite uma leitura direta em unidades de atividade (múltiplos da unidade SI becquerel ou submúltiplos da unidade anteriormente empregada, Curie). A medida é feita utilizando uma condição fixa, predefinida do

instrumento, como uma tecla, um potenciômetro ou um fator de multiplicação eletronicamente ajustado para cada particular radionuclídeo. Os instrumentos utilizados, neste trabalho, indicam os valores somente em submúltiplos de Curie (mCi), e, por esse motivo, achou-se melhor utilizar essa unidade na apresentação dos resultados.

Vários fabricantes têm vendido calibradores de dose que não usam câmaras de ionização, mas outros detetores, como cintiladores plásticos e tubos Geiger-Müller em configuração de poço.

O objetivo deste trabalho é realizar os testes de controle de qualidade, como testes de exatidão, precisão, reprodutibilidade e linearidade de resposta, utilizando dois sistemas de medida: um que usa câmaras de ionização e outro que usa tubos Geiger-Müller em configuração de poço. A partir desses testes, foram comparados os desempenhos dos dois tipos de sistemas utilizados em uma clínica de Medicina Nuclear de São Paulo.

Descrição experimental

Foram utilizados, neste estudo, dois sistemas de medida que serão chamados de sistema CI e sistema GM. O sistema CI é um instrumento que consiste em uma câmara de ionização do tipo poço, blindada, com 3,2 mm de chumbo e pressurizada com argônio puro a 12 atmosferas e de uma unidade de controle com mostrador digital que permite uma leitura direta em milicurie (0.000 a 1.999). As dimensões do poço são 63,5 mm de diâmetro e 267 mm de profundidade. A unidade de controle possui um seletor que vem pré-calibrado para dez dos radioisótopos mais utilizados: Iodo-125, Gálio-67, Selênio-75, Molibdênio-99, Tecnécio-99m, Índio-111, Índio-113m, Iodo-123, Iodo-125 e Xenônio-133. Outros emissores gama, de 25 keV a 3 MeV, podem ser medidos usando o seletor na posição DIAL e ajustando um potenciômetro. O instrumento possui, ainda, como acessório, um recipiente que serve para frascos e seringas. O fabricante especifica uma acurácia de $\pm 5\%$ para o instrumento.

O sistema GM é um instrumento que consiste em dois detetores G-M em configuração de poço, com um mostrador digital que permite uma leitura direta em milicurie (0,001 a 999,9). O poço tem 49,5 mm de diâmetro e é blindado com 6,4 mm de chumbo em volta, 4,8 mm em cima e em baixo, e, ainda, 12,7 mm em cima.

O instrumento possui um seletor que vem calibrado de fábrica para cinco radioisótopos usados mais comumente: Gálio-67, Molibdênio-99, Tecnécio-99m, Iodo-131 e Xenônio-133. Outros emissores gama, de 30 keV a 1,2 MeV, podem ser medidos, usando o seletor na posição DIAL e ajustando um potenciômetro. O instrumento possui, também, como acessório, um recipiente para frascos de eluição de 10 a 30 ml. O fabricante não especifica uma acurácia total para o instrumento, uma vez que esta deve ser determinada, levando-se em consideração vários fatores: erro no posicionamento da amostra, estabilidade e linearidade do detetor, erro estatístico e acurácia da fonte de referência para a calibração.

Para os testes de exatidão, precisão e reprodutibilidade, foram utilizadas fontes-padrão de Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137, calibradas com 5% de incerteza. Seguem as atividades e as datas de referência das fontes-padrão utilizadas. Para o teste de linearidade, utilizou-se uma fonte de Tecnécio-99m em solução colocada em uma seringa.

TABELA 1. Características das fontes padrão

Fonte	Atividade(mCi)	Referência
Cobalto-57	5,32	24/01/97
Bário-133	0,238	09/01/97
Césio-137	0,245	09/01/97

Os procedimentos para a obtenção das medidas, assim como os métodos de análise dos resultados, foram baseados em uma publicação da Agência Internacional de Energia Atômica. Os limites de aceitação foram baseados nas recomendações da norma CNEN-NN-3.05 "Requisitos de Radioproteção e Segurança para Serviços de Medicina Nuclear".

Resultados

A seguir, apresentaremos os resultados das medidas com as fontes de Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137 para os testes de precisão e exatidão e a diferença percentual entre a atividade medida e a média das medidas no sistema CI.

Pode-se ver que, para as três fontes, todas as medidas da atividade individuais estão com o desvio percentual P menor que 0,5%, ou seja, dentro de $\pm 5\%$, que é o limite de aceitação para o teste de precisão. Para o teste de exatidão, o limite de aceitação para o desvio percentual D, entre a média das atividades medidas e a atividade da fonte-padrão com correção do decaimento, é de $\pm 10\%$. Para a fonte de Cobalto-57, $D=1,7\%$, para a fonte de Bário-133, $D=7,3\%$, e para a fonte de Césio-137, $D=4,2\%$. Os resultados confirmam um desempenho aceitável do sistema CI.

TABELA 2. Atividade medida A_i e desvio percentual P com relação a média da medidas no sistema CI (câmara de ionização)

Cobalto-57		Bário-133		Césio-137	
A_i (mCi)	P(%)	A_i (mCi)	P(%)	A_i (mCi)	P(%)
1,551	-0,13	0,233	-0,38	0,250	-0,4
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,251	0
1,550	-0,19	0,235	-0,47	0,252	0,4
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,252	0,4
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,251	0
1,555	-0,13	0,234	-0,04	0,251	0
1,555	-0,13	0,234	-0,04	0,251	0
1,555	-0,13	0,233	-0,38	0,250	-0,4
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,251	0
1,552	-0,06	0,234	-0,04	0,251	0

A reprodutibilidade do sistema CI é verificada rotineiramente, desde a instalação, utilizando uma fonte de Césio-137. Até o momento, nenhum resultado individual de medidas diárias divergiu dos limites de aceitação ($\pm 5\%$), o que indica que não há falha no desempenho do instrumento na condição de medida selecionada (Tecnécio-99m).

Observe os resultados do teste de linearidade de resposta pelo método do decaimento da fonte no sistema CI. Uma fonte de Tecnécio-99m, com uma atividade inicial de 206 mCi, foi usada.

TABELA 3. Linearidade do sistema CI

t(horas)	A_m (mCi)	A_T (mCi)	Δ (%)
0	206,0	206,0	0
3	145,5	145,8	-0,20
6	103,1	103,2	-0,10
27	9,04	9,20	-1,74
30	6,30	6,52	-3,37
33	4,37	4,61	-5,21
48	0,815	0,821	-0,73
51	0,575	0,581	-1,03
54	0,411	0,411	0
57	0,285	0,291	-2,06

t=tempo decorrido

A_m =Atividade medida

A_T =Atividade corrigida pelo decaimento

Δ =Desvio percentual entre A_m e A_T

Pode-se observar, pelos resultados, que todas as medidas da atividade individuais estão, com o desvio percentual, em relação à atividade corrigida pelo decaimento, menor que 5,5%, e, portanto, dentro de $\pm 20\%$, que é o limite de aceitação para o teste de linearidade. O desempenho aceitável para o teste de linearidade no sistema também pode ser confirmado, verificando-se a inclinação da reta e se assegurando que ela é consistente com a meia vida física do Tecnécio-99m (6,02 h).

Segue a atividade medida em função do tempo decorrido em relação à primeira medida.

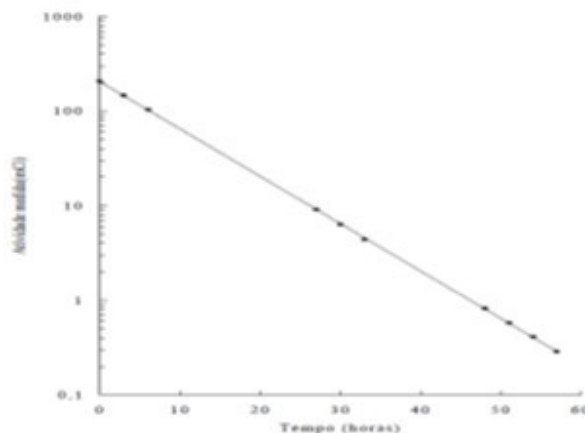


Figura 2. Linearidade do sistema CI.

Ainda, apresentaremos os resultados das medidas com as fontes de Cobalto-57, Bário-133 e Césio-137 para os testes de precisão e de exatidão, além da diferença percentual entre a atividade medida e a média das medidas no sistema GM.

TABELA 4. Atividade medida A_i e desvio percentual P com relação à média das medidas no sistema GM (Geiger-Müller)

Cobalto-57		Bário-133		Césio-137	
A_i (mCi)	P(%)	A_i (mCi)	P(%)	A_i (mCi)	P(%)
1,434	2,5	0,206	0	0,184	-3,1
1,369	-2,1	0,210	1,9	0,190	0
1,362	-2,6	0,192	-6,8	0,191	0,5
1,416	1,2	0,210	1,9	0,192	1,0
1,424	1,8	0,206	0	0,204	7,4
1,407	0,6	0,198	-3,9	0,191	0,5
1,407	0,6	0,217	5,3	0,183	-3,7
1,397	-0,1	0,210	1,9	0,192	1,0
1,353	-3,3	0,205	-0,5	0,181	-4,7
1,419	1,4	0,201	-2,4	0,187	-1,6

O propósito do teste de reprodutibilidade é verificar a reprodutibilidade, dia a dia, de um calibrador de dose em medidas de radionuclídeos comumente utilizados. O Serviço de Medicina Nuclear, no qual foram realizados os testes, não utiliza o sistema GM rotineiramente. A clínica não possui resultados de medidas diárias desse equipamento, o que não permitiu a realização do teste de reprodutibilidade. Assim, realizou-se um teste que se pode chamar de teste de repetitividade, ou seja, testou-se o grau de concordância entre os resultados de medidas sucessivas em um curto período de tempo. Foram feitas medidas sucessivas com as fontes de Cobalto-57 e de Bário-133 nas condições de medida do Tecnécio-99m, e calculou-se a média, além do desvio padrão experimental. Os resultados obtidos foram $(1,45 \pm 0,06)$ mCi para a fonte de Cobalto-57 e $(0,33 \pm 0,04)$ mCi para a fonte de Bário-133. A norma CNEN não faz nenhuma recomendação em relação a esse teste. O manual do fabricante também não especifica uma acurácia total para esse instrumento, pois depende de vários fatores, como do erro estatístico. Assim, a sugestão para quem utiliza um sistema como esse é repetir medidas, uma vez que o valor médio de um grande número de medidas tem um erro estatístico menor, melhorando a acurácia do valor medido. Segundo o manual do fabricante, a média de dez medidas reduz o erro estatístico em 10%.

Seguem os resultados para o teste de linearidade de resposta pelo método do decaimento da fonte no sistema GM.

TABELA 5. Linearidade do sistema Gm (Geiger-Müller)

t(horas)	A_m (mCi)	A_T (mCi)	Δ (%)
0	183,8	186,4	-1,4
2	149,2	148,1	0,7
4	113,8	117,5	-3,1
6	93,6	93,4	0,2
26,2	9,88	9,12	8,3
28	7,95	7,42	7,1
30	6,44	5,90	9,2
48	0,65	0,74	-9,0
50	0,52	0,59	-11,9
52	0,44	0,47	-6,4

t=tempo decorrido

A_m =Atividade medida

A_T =Atividade corrigida pelo decaimento

Δ =Desvio percentual entre A_m e A_T

Conclusão

Os resultados obtidos mostram um desempenho melhor do sistema CI em relação ao sistema GM.

FONTE: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/1999/PDF/CG09AH.PDF>. Acesso em: 9 abr. 2021.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu:

- Para garantir que as doses sejam administradas com segurança, é necessário que as exposições sejam baixas, e, para isso, estudos devem fornecer informações da quantidade do radioisótopo que é incorporada em determinado órgão ou tecido e, a partir daí, calcular a dose absorvida.
- Há o risco de manuseio de fontes não seladas, no caso, das fontes utilizadas na Medicina Nuclear, ou seja, aquelas fontes de radiação que não são encapsuladas, e que podem contaminar ambientes, fazendo com que ocorra a contaminação de pacientes ou de profissionais que ali trabalham pelas vias oral e nasal.
- As doses podem ser estimadas por meio de medições indiretas, a partir de cavidades do corpo humano, por cálculos e pela pele. Alguns modelos de softwares podem ser utilizados para calcular as doses, como o modelo de Monte Carlo, que utiliza a energia da radiação para o cálculo de dose.
- Como não são utilizados pacientes para estudos de cálculo de doses, os fantasmas servem para simular a presença de pessoas, conhecidos como antropomórficos, ou seja, de aspecto ou semelhança à aparência humana.
- A dosimetria deve ser levada em consideração na Medicina Nuclear, já que os exames e as terapias são realizados com a utilização de radioisótopos. A Norma da CNEN 3.05, que cita os requisitos de proteção radiológica na Medicina Nuclear, no texto, informa pontos importantes das doses que devem ser utilizadas dentro do serviço.
- As doses administradas aos pacientes injetados devem ser calculadas, considerando peso, superfície corporal exposta ou outros critérios definidos em procedimentos médicos devidamente justificados.
- A administração de doses terapêuticas ao paciente injetado, submetido à terapia com I^{-131} e atividade superior a 1850 MBq, deve ser realizada no quarto, para terapia.
- As lactantes deve ser instruídas, por escrito e verbalmente, a respeito dos cuidados necessários à proteção radiológica a serem adotados antes, durante e após o procedimento médico, a fim de prevenir a exposição a doses acima dos limites estabelecidos para indivíduos do público.
- A sala para realizar estudos de ventilação pulmonar deve possuir sistema de exaustão de ar projetado, de maneira a manter, no local de manipulação do radiofármaco, os níveis de doses para os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos.

- No processo de otimização, deve ser observado que as doses, nos indivíduos, decorrentes de exposição à fonte, devem estar sujeitas às restrições de dose relacionadas a essa fonte.
- A posição regulatória 3.01/010:2011 trata de níveis de doses que podem ser obtidos dentro do serviço de Medicina Nuclear e que devem ser notificados a CNEN.
- Como o decaimento do tecnécio ^{99m}Tc se dá em seis horas, a energia gama desse radioisótopo fica em torno de 141,0 KeV.
- Uma dose de 3,7 MBq, administrada via oral, para indivíduos saudáveis, pesando até 70 kg, é absorvida pelos órgãos, mas levando sempre em consideração a captação pela tireoide.
- A tireoide recebe sempre mais dose de Iodo ^{123}I e mudança na quantidade de outros órgãos ou não, de acordo com a porcentagem de dose recebida pela glândula.
- A dosimetria do Iodo ^{131}I (iodeto de sódio) deve levar em consideração a dose dos órgãos que recebem a radiação, para se sobressair aos riscos. Para que isso ocorra, é necessário ajustar a dose recebida pelo paciente, levando em consideração o tamanho da tireoide, que pode ser detectado através de exames de imagem, como a ultrassonografia.
- Segundo a Comissão Nacional de Proteção Radiológica (ICRP 53) (1987), a dose absorvida no adulto é distribuída.
- Os serviços de Medicina Nuclear utilizam um calibrador de dose para ajustar as doses a serem administradas nos pacientes para os exames. O curiômetro, como também é chamado, tem um papel de trazer controle de qualidade.
- O curiômetro consiste em uma câmera de ionização do tipo poço, que é unida a um equipamento digital, que fornece as medidas das unidades de radioatividade.
- A Norma 3.05, da CNEN, mostra, no anexo V, os testes de controle de qualidade que necessitam ser realizados no medidor de atividade.
- A periodicidade dos testes do medidor de atividade (curiômetro) pode ser de aceitação, diária, semestral e anual.

AUTOATIVIDADE



1 O sistema de exaustão de ar é projetado de maneira a manter, no local de manipulação do radiofármaco, os níveis de doses para Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) dentro dos níveis operacionais estabelecidos pelo Serviço de Medicina Nuclear. Podemos dizer que esse item é citado na Norma:

- a) () 3.05.
- b) () 3.03.
- c) () 3.01.
- d) () 6.01
- e) () NR-32.

2 Perceba que uma posição regulatória da CNEN trata de níveis de doses que podem ser obtidos dentro do serviço de Medicina Nuclear e que devem ser notificados, para a CNEN, para que a comissão tome as ações necessárias para que não mais aconteçam esses níveis, que, geralmente, estão acima do estipulado. Podemos dizer que essa posição regulatória da CNEN é:

- I- Posição regulatória 3.01/010:2011.
- II- Posição regulatória 3.01/011:2011.
- III- Posição regulatória 3.01/012:2011.
- IV- Posição regulatória 3.01/015:2011.
- V- Posição regulatória 3.01/018:2011.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) () Apenas a I está correta.
- b) () Apenas I e II estão corretas.
- c) () Apenas a III está correta.
- d) () Todas estão corretas.

3 Cite oito doses de radiação que são absorvidas (mGy/MBq) por um paciente adulto, com peso de 70Kg, após administração intravenosa de tecnécio 99m.

4 Em uma dose de 3,7 MBq de Iodo 131, administrada por via oral, a distribuição de dose, na tireoide, pode ser de 5%, 15% e 25%, além de outros órgãos. Cite a dose de captação de Iodo 131 na tireoide em 5%, 15% e 25%, além de seis órgãos.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, P. R.; OLIVEIRA, V. M. S. **Aplicações da energia nuclear na saúde**. 2017. Disponível em: http://portal.sbpcnet.org.br/livro/energianuclearna_saude.pdf. Acesso em: 18 fev. 2021.

CNEN. **Norma CNEN NN 6.01 “Requisitos de pessoas físicas para o preparo, uso e manuseio de fontes de radiação”**. 2020. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm601.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2021.

CNEN. **Norma CNEN NN 3.05 “Requisitos de segurança e radioproteção para serviços de medicina nuclear”**. 2020. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm305.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2021.

CNEN. **Norma CNEN NN 3.01 “Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica”**. 2011. Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm301.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2021.

EANM. Associação Europeia de Medicina Nuclear. **Dosagecard em pediatria**. 2020. Disponível em: <https://www.eanm.org/publications/dosage-card/>. Acesso em: 11 fev. 2021.

ENIT. Escola Nacional de Inspeção do Trabalho. **Norma Regulamentadora 32**. 2020. Disponível em: https://enit.trabalho.gov.br/portal/images/Arquivos_SST/SST_NR/NR-32.pdf. Acesso em: 21 fev. 2021.

ICRP 53. **Doses de radiação de radiofármacos em pacientes**. 1987. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_18_1-4. Acesso em: 3 abr. 2021.

IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. **IOD – IPEN – 123 – Iodeto de sódio (123 I)**. 2020a. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/geral/BULA%20IOD-IPEN-123%20Profissional%20da%20saude.pdf. Acesso em: 11 fev. 2021.

IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. **IOD-IPEN-131 – Iodeto de Sódio (131 I)**. 2020b. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/geral/BULA%20IOD-IPEN-131%20Profissional%20da%20saude.pdf. Acesso em 11 de fevereiro de 2021.

IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. **Gerador IPEN-TEC - Informações aos profissionais de saúde**. 2019a. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/geral/1555_1387_BULA%20GERADOR%20IPEN-TEC%20Profissional%20da%20saude.pdf. Acesso em: 11 fev. 2021.

IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. **Gerador IPEN-TEC – Informações aos pacientes**. 2019b. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/geral/1555_2088_BULA_GERADOR-IPEN-TEC_Paciente_REV_03.pdf. Acesso em: 11 fev. 2021.

IPEN. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. **GAL-IPEN – Citrato de Gálio (67 Ga)**. 2015. Disponível em: https://www.ipen.br/portal_por/conteudo/geral/BULA%20GAL-IPEN%20Profissional%20da%20saude.pdf. Acesso em: 11 fev. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Amamentação e uso de medicamentos e outras substâncias**. 2014. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/amamentacao_uso_medicamentos_outras_substancias_2edicao.pdf. Acesso em: 24 fev. 2021.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Resolução nº 38, de 4 de junho de 2008 - Instalação e o Funcionamento de Serviços de Medicina Nuclear "In Vivo"**. 2008. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2008/res0038_04_06_2008.html. Acesso em: 21 fev. 2021.

SOARES, J.; FONSECA, P. R.; CERCI, J. J.; BUCHPIGUEL, A. C.; CUNHA, L. M.; MAMED, M.; ALMEIDA, A. S. Lista de recomendações do Exame PET/CT com 18F-FDG em Oncologia. Consenso entre a Sociedade Brasileira de Cancerologia e a Sociedade Brasileira de Biologia, Medicina Nuclear e Imagem Molecular. **Radiol Bras.**, v. 43, n. 4, p. 255-259, 2010.

RADIOPROTEÇÃO EM MEDICINA NUCLEAR

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A partir do estudo desta unidade, você deverá ser capaz de:

- conhecer a interação da radiação ionizante com as células;
- compreender os efeitos biológicos causados pela radiação;
- saber o que são os rejeitos radioativos e o gerenciamento;
- compreender os locais que favorecem a descontaminação no serviço de Medicina Nuclear;
- conhecer as medidas de proteção ao paciente e as barreiras de proteção.

PLANO DE ESTUDOS

A cada tópico desta unidade você encontrará autoatividades com o objetivo de reforçar o conteúdo apresentado.

TÓPICO 1 – EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES EM MEDICINA NUCLEAR

TÓPICO 2 – RESÍDUOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS

TÓPICO 3 – DESCONTAMINAÇÃO

TÓPICO 4 – PROTEÇÃO DE PACIENTES E BARREIRAS DE PROTEÇÃO



CHAMADA

Preparado para ampliar seus conhecimentos? Respire e vamos em frente! Procure um ambiente que facilite a concentração, assim absorverá melhor as informações.



CONFIRA A TRILHA DA UNIDADE 3!

Acesse o
QR Code abaixo:



EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES EM MEDICINA NUCLEAR

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos estão expostos, no dia a dia, à radiação ionizante, por exemplo, há o sol, que, quando estamos expostos, recebemos a radiação infravermelha, mas, além das fontes naturais, existem as artificiais, que compreendem às fontes de radiação que são usadas na Medicina Nuclear e, se forem expostas, podem trazer riscos e efeitos às pessoas ao seu redor.

A radiação é distribuída dessa forma: 38% ao uso no diagnóstico, 14% ao uso médico, e 13% à radiação cósmica. Perceba que o uso em exames de diagnóstico ou em terapias médicas forma 52% na distribuição. A partir dessa fatia de porcentagem de uso da radiação, é necessário compreender os efeitos que podem ocorrer no corpo humano quando exposto a determinadas doses.

As radiações podem ser alfa, beta e gama, sendo que a alfa não consegue penetrar na pele do corpo humano. Já a beta tem efeitos superficiais, que são completamente diferentes. Quando ocorre uma exposição à radiação gama ou aos raios-X, os efeitos são extremamente maiores, por causa da capacidade de penetração.

Quando já se detecta o tipo de radiação, os efeitos podem ser explicados, já que existe a transferência da energia da radiação para as células do corpo, que atinge as moléculas e causa danos irreversíveis ao DNA, importante por comportar o nosso código genético.

Os efeitos causados pela exposição à energia da radiação sempre ocorrem em segundos. Esses efeitos podem se desenvolver no corpo humano em curto ou em longo prazo, mas um dos piores efeitos que podem ser causados são as doenças provenientes à exposição.

Quem sofre o primeiro impacto da energia da radiação é a célula, que é formada por uma membrana citoplasmática, um núcleo, e um citoplasma, formado por um líquido que preenche as células. O citoplasma também é formado por organelas.

Toda célula passa por um processo chamado de ciclo celular. Esse ciclo é formado por fases e essas fases são chamadas de interfase e mitótica.

Prezado acadêmico, agora, entenderemos mais a respeito dos efeitos biológicos da radiação. Vamos lá?!

2 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE COM AS CÉLULAS

Inicialmente, devemos abordar o efeito da radiação ionizante sobre as células. Essas interações podem ocorrer através dos efeitos diretos e indiretos. No efeito direto, as células ou moléculas recebem diretamente a energia da radiação. Já no efeito indireto, a transferência da energia da radiação é feita através de outra célula ou molécula.

Para que ocorra o efeito direto, é necessário que a radiação seja proveniente de fontes externas, como os raios-X ou de fontes radioativas. Para o efeito indireto, o material radioativo precisa ter acesso ao corpo humano por meio da inalação, ingestão, absorção ou pele.

A ação da radiação na membrana celular provoca mudanças nas estruturas químicas da célula, causando defeitos na permeabilidade. Já a interação da radiação com o DNA provoca mutações e alterações genéticas em indivíduos .

Além desses efeitos, a interação da radiação com a célula pode causar a radiólise, que é a destruição das moléculas de água pela radiação. Esse efeito produz água oxigenada, que é tóxica para as células.

O tempo de manifestação do efeito tardio pode acontecer 60 dias após a exposição, e, o efeito imediato, horas após a exposição, ou em até 60 dias.

Os danos causados pelos efeitos tardio e imediato podem ser somáticos ou determinísticos. Esse efeito é caracterizado por se apresentar em pessoas que foram irradiadas e essa irradiação pode ser em partes do corpo, como em um derramamento de um radiofármaco ou radioisótopo na Medicina Nuclear.

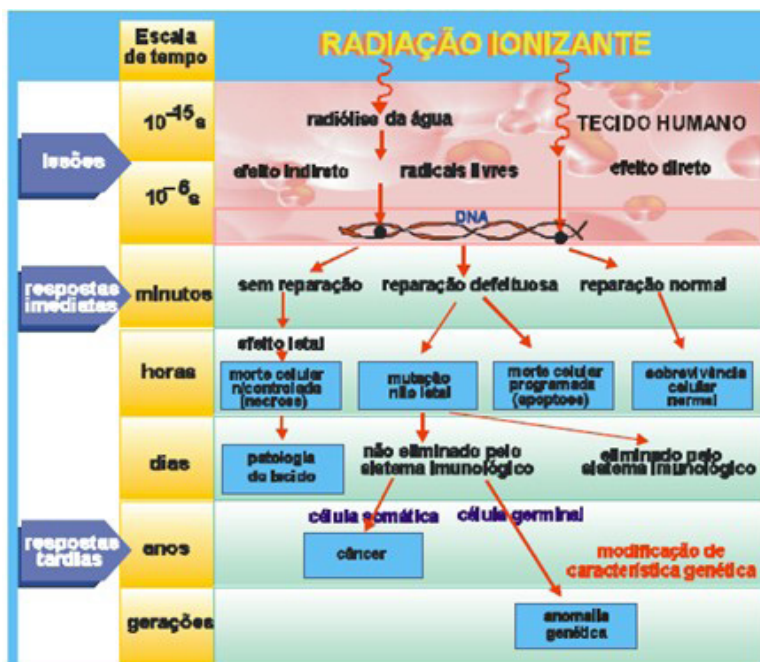
Fora o efeito somático, temos o hereditário, que ocorre na geração daquela pessoa que foi exposta à radiação. Esse efeito ocorre pelos danos causados pela radiação em células dos órgãos reprodutores, do homem e da mulher.

A figura a seguir mostrará todos os efeitos causados no corpo humano pela radiação ionizante. Perceba que até a radiólise da água é citada. Além dos efeitos, é estimado o tempo da ocorrência.

Essa ocorrência, mostrada adiante, pode durar segundos, minutos, horas, dias, anos e até por gerações, conforme foi citado no parágrafo anterior, no efeito hereditário, que tem, como predominância, a anomalia genética em toda a geração daquela pessoa que foi irradiada.

Geralmente, a anomalia genética é ocasionada pela falta de capacidade do sistema imunológico de atuar, fazendo com que ocorram danos tardios nas células que foram submetidas à radiação, ou até naquelas que são formadas.

FIGURA 1 – PROCESSOS DA INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO IONIZANTE COM AS CÉLULAS DO CORPO HUMANO



FONTE: CNEN (2014, p. 115)

Veja que a escala de tempo apresentada mostra as lesões, as respostas imediatas e as respostas tardias. Nas lesões, ocorrem os efeitos diretos e indiretos e, na resposta imediata, o DNA da célula que recebeu a energia da radiação pode não ser reparado, ou ser reparado com danos. Ainda, existe a possibilidade de ocorrer uma reparação normal.

As mutações geradas nas células pela ionização da radiação podem ocorrer nas células do corpo ou nas células das gônadas, que são chamadas de germinativas. Essas mutações vão além da quebra nas bases do DNA, mas, também, da quebra dos cromossomos ou a partir do aumento ou da diminuição, causando aberrações. Sem falar na morte da célula, que pode ocorrer quando a dose Gy é bem grande. Uma morte celular exagerada em um tecido pode fazer com que o funcionamento seja comprometido, e as pessoas apresentam sérios problemas de saúde.

Por exemplo, quando a pele é irradiada com dose limiar de 3 Gy, ocorre a morte das células, gerando a radiodermite, uma inflamação da pele.

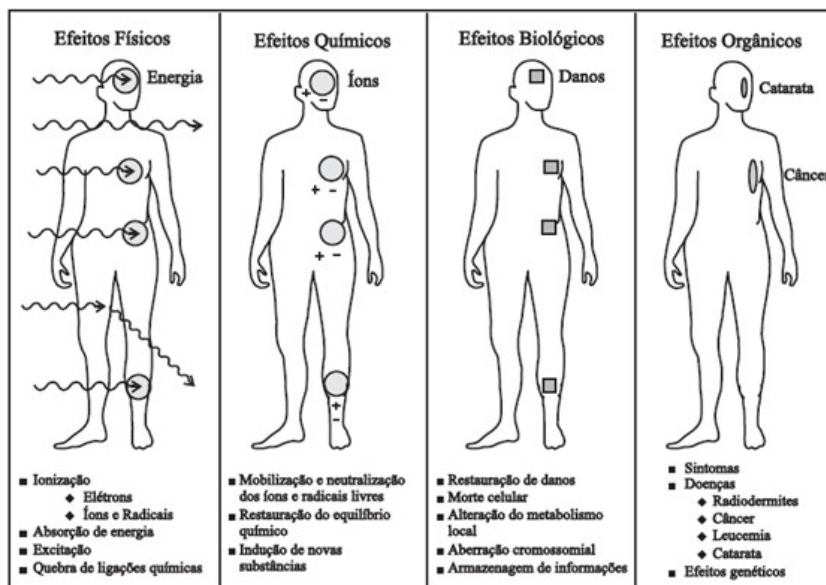


NOTA

Os efeitos da exposição à radiação ocorrem no corpo humano através dos processos físicos e químicos, para, depois, desenvolverem-se os efeitos biológicos.

Agora que você já sabe que os efeitos biológicos são originários de processos físicos e químicos, perceba, a seguir, como o efeito biológico é determinado:

FIGURA 2 – ETAPAS DO EFEITO BIOLÓGICO CAUSADO PELA RADIAÇÃO



FONTE: CNEN (2014, p. 122)

Perceba que os efeitos físicos estão relacionados com a energia de radiação recebida pelo corpo ou parte dele e que, nesse processo, ocorre a ionização, que gera elétrons, íons e radicais provenientes de quebras de ligações químicas, decorrentes da transferência de energia.

Os efeitos químicos estão ligados à absorção da energia recebida pela célula. Essa fase dura cerca de segundos e, é nesse momento, que os íons e os radicais livres podem atacar moléculas importantes da célula. A célula, a depender da dose recebida, pode restaurar o equilíbrio químico.

No efeito químico, pode surgir a radiólise, que é a perda de água pela célula, causando a água oxigenada, com a perda de moléculas da célula.

Os efeitos biológicos, como mostrado na figura anterior, podem ocorrer em dias ou em anos. A célula pode ser afetada, levando-a à morte, ou impedindo a célula de realizar a divisão celular, além das alterações genéticas, que são passadas para células posteriores. Essas alterações precisam levar sempre em consideração a radiação recebida e a quantidade.

Os efeitos orgânicos estão associados ao desequilíbrio do corpo, causado pelos efeitos biológicos, como problemas que ocorrem nas células de um órgão, que não são reparados pelo sistema imunológico e se transformam em um câncer.

Os efeitos orgânicos estão associados às doenças, como mostrado: catarata, leucemia, radiodermite e problemas genéticos, de pais para filhos.

3 EFEITOS BIOLÓGICOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE

Os efeitos biológicos da radiação ionizante podem ser divididos em estocásticos ou determinísticos. Esses efeitos recebem esse nome em função do valor da dose e resposta a essa dose.

Para que ocorra essa resposta à dose recebida, é necessário que ocorra a manifestação do corpo atingido pela dose. Os efeitos estocásticos se diferem dos determinísticos pelo motivo de os estocásticos transformarem as células e os determinísticos causarem a morte celular.

3.1 EFEITOS ESTOCÁSTICOS

Os efeitos estocásticos estão relacionados à dose de radiação recebida. Essa dose pode fazer com que ocorram alterações no DNA. Para que fique fácil o entendimento em relação ao efeito estocástico, é só se lembrar de que as doses recebidas são estocadas no nosso corpo.

Os danos causados no DNA pelo efeito estocástico causam a alteração e a desordem estrutural na célula que continua a se reproduzir, ou seja, esse efeito traz problemas hereditários.

Sem a existência de um limiar de dose, para ocorrerem os efeitos estocásticos, as doses pequenas, ao longo tempo, podem trazer sérios danos ao indivíduo, como o câncer. Alguns organismos podem apresentar uma defesa eficiente, fazendo com que não ocorra a evolução para o câncer.

Segundo a CNEN (2014), o período de aparecimento do câncer após a irradiação pode chegar a 40 anos. Já a leucemia, pode ser gerada de cinco a sete anos, com período de latência de dois anos.

3.2 EFEITOS DETERMINÍSTICOS

Os efeitos determinísticos causam a morte celular, que pode ser gerada pela irradiação do corpo inteiro ou de uma parte do corpo. Já que esse efeito causa a morte celular, os prejuízos são desencadeados em órgãos e em tecidos do corpo.

Todos os problemas causados pelo efeito determinístico estão relacionados com o aumento da dose. Através desse aumento, os danos crescem e as alterações são somáticas.

Abaixo do limiar de dose, não ocorrem efeitos danosos em órgãos e em tecidos, mas ocorre a perda de células, sendo que essa perda não atinge o funcionamento dos órgãos e dos tecidos.

Agora, acima do limiar de dose, os danos são altos e o aumento do grau se dá de acordo com a dose recebida. Os danos relativos ao recebimento dessa alta dose precisam levar sempre em consideração a susceptibilidade do indivíduo.

Vamos aos exemplos de doses acima do limiar, que fazem com que danos ocorram em órgãos e tecidos com sintomas entre três a quatro semanas (CNEN, 2014):

- Eritema de descamação seca ocorre com doses acima de três a cinco Gy.
- Necrose, doses acima de 50 Gy.
- Descamação úmida, acima de 20 Gy.

Agora, observe a figura a seguir, que mostrará, com exatidão, os danos ocasionados por doses de radiação acima do limiar:

FIGURA 3 – LIMIAR DE DOSE

TECIDO E EFEITO	LIMIAR DE DOSE		
	Dose Equivalente Total recebida em uma única exposição (Sv)	Dose Equivalente Total recebida numa exposição fracionada ou prolongada (Sv)	Taxa de Dose Anual recebida em exposições fracionadas ou prolongadas por muitos anos (Sv)
Gônadas - esterilidade temporária - esterilidade	0,15 3,5 - 6,0	ND ND	0,40 2,00
Ovários - esterilidade	2,5 - 6,0	6	> 0,2
Cristalino - opacidade detectável - catarata	0,5 - 2,0 5,0	5 > 8	> 0,1 > 0,15
Medula óssea - depressão de hematopoiese	0,5	ND	> 0,4

FONTE: CNEN (2014, p. 159)

Prezado acadêmico, com base na figura anterior, perceba os tecidos e os efeitos. Por exemplo, as gônadas que receberam doses acima do limiar apresentado, ou seja, em dose equivalente total recebida em uma exposição ou em dose equivalente total recebida em uma exposição fracionada ou prolongada. Ainda, em faixas de doses prolongadas ou fracionadas recebidas durante um ano.

Essas doses recebidas nas gônadas podem causar esterilidade temporária ou definitiva. Já os ovários da mulher podem sofrer esterilidade definitiva. O cristalino, no olho, pode apresentar opacidade e catarata, e, a medula óssea, depressão de hematopoiese.

Além desses danos apresentados, podem ocorrer, também, danos no Sistema Nervoso Central (SNC), gastrointestinais e pulmonares.

4 PROTEÇÃO DO SISTEMA BIOLÓGICO À RADIAÇÃO

O corpo humano, através das células, pode fazer reparos, até mesmo, a danos que parecem, visualmente, ser irreversíveis, principalmente, aqueles que alteram o DNA podem ser recuperados.

Quando as células sofrem o dano causado pela radiação e se recuperam, pode-se informar que o dano foi reversível e que o órgão ou a célula voltou a ter funcionalidade no organismo.

Agora, é importante sabermos que o dano causado pela radiação ionizante a uma pessoa não pode ser transmitido. O nome dado a esse processo é transmissividade, que se caracteriza pela não transmissão dos danos biológicos. O que se transmite são os danos hereditários, que geram um dano genético.

Então, fica claro que uma pessoa que é exposta à radiação ionizante e, aparentemente, apresenta danos ou algum tipo de doença, pode ser tratada sem qualquer problema, pelo motivo da doença que o doente porta não ser transmissível.

5 EFEITOS BIOLÓGICOS EM GRÁVIDAS

Esses efeitos estão totalmente ligados ao tempo de gestação e podem ser avaliados pela ingestão ou inalação de radionuclídeos pela mãe que, provavelmente, são transmitidos para o feto. Ainda, o feto pode ser atingido por uma radiação externa, proveniente de uma fonte que a gestante tem contato.

Seguem alguns efeitos que a radiação pode causar no feto ou embrião:

- Morte do feto ou embrião.
- Problemas com o crescimento do feto.
- Má formação do feto.
- Problemas mentais.
- Problemas genéticos.

6 IRRADIAÇÃO DE CORPO INTEIRO

Esse tipo de exposição à radiação, que afeta o corpo inteiro, com doses acima de 0,26 Gy, provoca diversos sintomas na pessoa que foi exposta. Os principais são náuseas, vômitos, cefaléia, eritema, morte, falta de atenção e emagrecimento.

Todos esses sintomas, e outros que não foram citados, constituem a Síndrome Aguda da Radiação, conhecida pela sigla (SAR). Para que ela ocorra, é necessária a fase inicial, além do período latente e da fase crítica. Nessa fase, já são apresentados os efeitos da exposição.

LEITURA COMPLEMENTAR



EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES ACIDENTE RADIOLÓGICO DE GOIÂNIA

Emico Okuno

Introdução

Radiação é energia que se propaga a partir de uma fonte emissora através de qualquer meio, podendo ser classificada como energia em trânsito. Ela se apresenta em forma de partícula atômica ou subatômica energética, como partículas alfa, elétrons, pósitrons, prótons, nêutrons etc., que podem ser produzidos em aceleradores de partículas ou em reatores, e as partículas alfa, os elétrons e os pósitrons são, também, emitidos espontaneamente, de núcleos dos átomos radioativos.

A radiação pode se apresentar em forma de onda eletromagnética, constituída de campo elétrico e campo magnético oscilantes, perpendiculares entre si e que se propagam no vácuo com a velocidade da luz de 3×10^8 m /s. Uma onda eletromagnética é caracterizada pelo comprimento de onda ou pela frequência da onda, e as várias faixas constituem o espectro eletromagnético, indo de ondas de frequência extremamente baixa, passando por ondas de rádio, de TV, micro-ondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, até chegar aos raios-X e raios-gama.

Qualquer tipo de radiação interage com corpos, inclusive, o humano, depositando, neles, energia. A forma de interação depende do tipo e da energia da radiação e do meio absorvedor.

Radiação ionizante

O processo de ionização discutido a seguir é o início do dano biológico provocado pela radiação ionizante.

Neste artigo, estamos interessados na radiação ionizante, que é aquela capaz de arrancar um elétron de átomo. Nesse processo, chamado de ionização, forma-se o par íon negativo e íon positivo. O primeiro é o elétron ejetado e, o íon positivo, é o átomo que perdeu um elétron. Os elétrons estão ligados a átomos por forças elétricas de diferentes valores, dependendo da localização. Quanto mais próximo do núcleo, maior é a força de atração entre o elétron e o núcleo, positivamente carregado. As energias de

ligação de um elétron da camada K (mais interna) e de um elétron da última camada de um átomo de tungstênio são 69.500 eV e 7,9 eV, respectivamente. A radiação ionizante pode arrancar qualquer elétron de um átomo se tiver energia maior.

As partículas carregadas, eletricamente, como partículas alfa, betas, elétrons e pósitrons, quando possuem energia suficiente, são consideradas radiação ionizante, e vão ionizando átomos que encontram na sua trajetória em um dado meio, até perder toda energia.

De todo espectro das ondas eletromagnéticas, somente os raios-X e gama são radiação ionizante, isto é, têm energia suficiente para ionizar átomos. Os fótons de raios-X e gama, diferentemente de partículas carregadas, perdem toda ou quase toda energia em uma única interação com átomos, ejetando elétron que, por sua vez, saem ionizando átomos até pararem. Os fótons podem, também, atravessar um meio sem interagir. Teoricamente, não há material nem forma de blindar todos os fótons, e isso é um dos motivos da necessidade de proteção radiológica que dita regras quanto ao nível de radiação a que as pessoas expostas podem receber.

A radiação ultravioleta para fins de fotobiologia é considerada não ionizante por não ter energia para arrancar elétron de principais átomos que constituem o corpo humano, como hidrogênio, oxigênio, carbono e nitrogênio, além penetrar muito pouco no corpo humano.

Na radiobiologia, considera-se como sendo ionizante a radiação com energia maior do que 10 eV. Neste artigo, tratamos somente de radiações ionizantes, assim, quando usarmos a palavra radiação, estamos falando dessa categoria de radiação.

Fontes de radiação

Há fontes artificiais de radiação, como os radionuclídeos e a radiação cósmica. Aqui, detalharemos como a radiação é emitida de somente algumas fontes de maior interesse.

Radionuclídeos

Os radionuclídeos ou radioisótopos são nuclídeos radioativos. Um nuclídeo é um átomo caracterizado por um número atômico Z , que é o número de prótons que é o mesmo de elétrons, e um número de massa A , que é o número de prótons mais o de nêutrons no núcleo.

Um dado nuclídeo é representado pelo símbolo $X-A$, sendo, X , a representação do elemento, como K (potássio), Cs (césio), U (urânio) etc. Nos nuclídeos, o Z é fixo, mas o A pode variar, formando os isótopos do elemento.

O elemento mais simples, o hidrogênio (H), tem três isótopos, o ${}^1_1\text{H}$ com somente um próton no núcleo, o ${}^2_1\text{H}$, deutério, com um próton e um nêutron, e o trítio, ${}^3_1\text{H}$, com um próton e dois nêutrons no núcleo.

O número atômico Z, no caso, o 1, que aparece como subíndice, muitas vezes, é omitido, pois, por definição, o hidrogênio tem somente um próton no núcleo. Os núcleos dos radionuclídeos são instáveis e emitem partículas, espontaneamente, em um processo chamado de desintegração ou decaimento nuclear. A instabilidade se deve à competição entre forças elétricas de repulsão entre prótons e de força nuclear de atração entre prótons, entre nêutrons e entre um próton e um nêutron.

Dependendo da quantidade de prótons e de nêutrons em um núcleo, a instabilidade pode ser maior ou menor, ou não existir, nesse caso, o núclídeo é dito ser estável.

No caso do hidrogênio, somente o ${}^3_1\text{H}$ é instável. O núclídeo iodo, por exemplo, tem um número muito grande de isótopos com número de massa A variando de 117 a 136, todos radioativos, com exceção do isótopo ${}^{127}_{53}\text{I}$, com 53 prótons e 74 nêutrons no núcleo, que é estável.

Muitos radionuclídeos pesados emitem partícula α , que é constituída de dois prótons e dois nêutrons. A chamada radiação β pode ser β^- (beta menos), que são elétrons, e β^+ (beta mais), que são pósitrons. São partículas similares aos elétrons, mas a sua carga elétrica é positiva. Após a emissão da radiação, se o núcleo ainda estiver instável, pode emitir um fóton de raio-gama. Após a emissão de uma partícula alfa ou de uma partícula beta, o radionuclídeo passa a ser outro núclídeo, que pode ser instável ou estável.

Radiação cósmica

A radiação cósmica foi descoberta em 1912, pelo físico austríaco Victor Hess. Sua origem é extraterrestre e há fortes indícios de que ela provém de supernovas, atravessa o espaço sideral, e de 85% a 90% do que atinge a atmosfera terrestre são prótons; de 9% a 12%, partículas alfa; e, 1%, núcleos de elementos pesados, todos extremamente energéticos. Essas partículas interagem com átomos da atmosfera e criam várias outras partículas, que constituem a radiação cósmica secundária, incluindo mésons pi, elétrons, nêutrons e fótons. Ao nível do mar, cerca de 75% da radiação cósmica é constituída de múons, que resultam do decaimento de mésons pi, e o restante é, essencialmente, fótons e elétrons.

A intensidade da radiação cósmica secundária varia com a altitude, e a máxima, chamada máximo de Pfozter, ocorre entre 15 e 26 km. Varia, também, com a latitude, sendo menor na região do equador e maior nos polos, devido ao campo geomagnético.

Os astronautas ficam expostos à radiação cósmica primária e, os aviários, à radiação cósmica secundária em voos, mais do que nós, uma vez que a atmosfera terrestre a degrada.

Efeitos biológicos das radiações ionizantes

Os átomos do nosso corpo estão unidos, formando moléculas, algumas muito pequenas, como a molécula da água, e outras muito grandes, como a molécula de DNA. Esses átomos estão unidos por forças elétricas. Quando uma partícula ionizante arranca um elétron de um dos átomos de uma molécula do nosso corpo, pode causar a desestabilização, que gera a quebra da molécula. As várias características da forma de atuação da radiação no corpo humano são descritas a seguir.

Estágios da ação

A sequência dos estágios é a seguinte:

- estágio físico, em que ocorre a ionização de um átomo em cerca de 10⁻¹⁵ s;
- estágio físico-químico, quando ocorrem as quebras das ligações químicas das moléculas que sofreram ionização, com duração de uns 10⁻⁶ s;
- estágio químico, quando os fragmentos da molécula se ligam a outras moléculas, com duração de poucos segundos;
- estágio biológico, que pode durar dias, semanas ou até várias dezenas de anos, quando surgem efeitos bioquímicos e fisiológicos com alterações morfológicas e funcionais dos órgãos.

Mecanismos de ação

Eles podem ser de dois tipos:

- mecanismo direto, quando a radiação interage diretamente com as moléculas importantes, como as de DNA, podendo causar desde mutação genética até morte celular;
- mecanismo indireto, quando a radiação quebra a molécula da água, formando radicais livres que podem atacar outras moléculas importantes. Esse mecanismo é importante, uma vez que o nosso corpo é composto por mais de 70% de água.

Natureza dos efeitos biológicos

Quanto à natureza, os efeitos podem ser classificados em reações teciduais e efeitos estocásticos.

Reações teciduais: resultam de dose alta e somente surgem acima de certa dose, chamada de dose limiar, cujo valor depende do tipo de radiação e do tecido irradiado. Um dos principais efeitos é a morte celular: se poucas células morrerem, o efeito pode nem ser sentido, mas, se um número muito grande de células de um órgão morrer, o funcionamento pode ser prejudicado. Nessas reações, quanto maior a

dose, mais grave é o efeito. Um exemplo é a queimadura, que pode ser desde um leve avermelhamento até a formação de bolhas enormes. Até recentemente, acreditava-se que as reações teciduais eram efeitos que surgiam pouco tempo após a exposição. Os estudos epidemiológicos dos sobreviventes das bombas atômicas lançadas pelos americanos no Japão começaram a mostrar evidências de que há efeitos muito tardios que resultam de danos nos tecidos e são doenças vasculares cardíacas e cerebrais, além da opacificação do cristalino, a catarata. Esses efeitos estão sendo recentemente comprovados com a coleta de dados de pessoas submetidas à radioterapia e, no caso da catarata, em médicos intervencionistas.

Efeitos estocásticos: são alterações que surgem em células normais, sendo, os principais, o câncer e o efeito hereditário. As recomendações de proteção radiológica consideram que esse tipo de efeito pode ser induzido por qualquer dose, inclusive, dose devido à radiação natural. São sempre tardios e a gravidade do efeito não depende da dose, mas a probabilidade da ocorrência aumenta com a dose. Os efeitos hereditários ocorrem nas células sexuais e podem ser repassados aos descendentes.

Síndrome aguda da radiação

Uma pessoa pode apresentar o que se chama de síndrome aguda da radiação, ao ser exposta em um intervalo de tempo pequeno de até alguns dias à radiação.

Essa síndrome pode variar com a dose. Se a dose absorvida no corpo todo for de 0,25 a 1Gy, algumas pessoas podem ter náusea, diarreia e depressão no sistema sanguíneo; se for entre 1 e 3 Gy, além de sintomas anteriores, pode ter forte infecção causada por agentes oportunistas; entre 3e 5 Gy, podem ocorrer hemorragia, perda de pelos e esterilidade temporária ou permanente; ao redor de 10 Gy, ocorre a inflamação dos pulmões; e, para doses maiores, os efeitos incluem danos nos sistemas nervoso e cardiovascular, levando o indivíduo à morte em poucos dias.

FONTE: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142013000100014. Acesso em: 18 fev. 2021.

RESUMO DO TÓPICO 1

Neste tópico, você aprendeu:

- Os seres humanos estão expostos, no dia a dia, à radiação ionizante, por exemplo, há o sol, que, quando estamos expostos, recebemos a radiação infravermelha. Além das fontes naturais, surgem as artificiais, que compreendem as fontes de radiação que são usadas na Medicina Nuclear. Se forem expostas, podem trazer riscos e efeitos às pessoas ao seu redor.
- As radiações podem ser alfa, beta e gama, sendo que a alfa não consegue penetrar na pele do corpo humano. Já a beta tem efeitos superficiais, que são completamente diferentes quando ocorre uma exposição à radiação gama ou aos raios-X. Os efeitos são extremamente maiores por causa da capacidade de penetração.
- A ação da radiação na membrana celular provoca mudanças nas estruturas químicas da célula, causando defeitos na permeabilidade. Já a interação da radiação com o DNA provoca mutações e alterações genéticas em indivíduos.
- A interação da radiação com a célula pode causar a radiólise, que é a destruição das moléculas de água pela radiação. Esse efeito produz água oxigenada, que é tóxica para as células.
- Os danos causados pelos efeitos tardio e imediato podem ser somáticos ou determinísticos. Esse efeito é caracterizado por se apresentar em pessoas que foram irradiadas, e essa irradiação pode ser em partes do corpo, como em um derramamento de um radiofármaco ou radioisótopo na Medicina Nuclear.
- Os efeitos físicos estão relacionados com a energia de radiação recebida pelo corpo ou parte dele. Nesse processo, ocorre a ionização, que gera elétrons, íons e radicais, provenientes de quebras de ligações químicas, decorrentes da transferência de energia.
- Os efeitos químicos estão ligados à absorção da energia recebida pela célula. Essa fase dura cerca de segundos e, é neste momento, que os íons e os radicais livres podem atacar moléculas importantes da célula. A célula, a depender da dose recebida, pode restaurar o equilíbrio químico.
- Os efeitos biológicos podem ocorrer em dias ou anos. A célula pode ser afetada, levando-a à morte, ou impedindo a célula de realizar a divisão celular, além das alterações genéticas, que são passadas para células posteriores. Essas alterações precisam levar sempre em consideração a radiação recebida e a quantidade.

- Os efeitos orgânicos estão associados ao desequilíbrio do corpo, causado pelos efeitos biológicos, como problemas que ocorrem nas células de um órgão, que não são reparadas pelo sistema imunológico e se transformam em um câncer.
- Os efeitos estocásticos estão relacionados à dose de radiação recebida. Essa dose pode fazer com que ocorram alterações no DNA. Para que fique fácil o entendimento em relação ao efeito estocástico, é só se lembrar de que as doses recebidas são estocadas no nosso corpo.
- Os efeitos determinísticos causam a morte celular, que pode ser causada pela irradiação do corpo inteiro ou de uma parte do corpo. Já que esse efeito causa a morte celular, prejuízos são desencadeados em órgãos e em tecidos do corpo.
- A Síndrome Aguda da Radiação, conhecida pela sigla (SAR), ocorre a partir da exposição do corpo inteiro. Com doses acima de 0,26 Gy, provoca diversos sintomas na pessoa que é exposta. Os principais são náuseas, vômitos, cefaleia, eritema, morte, falta de atenção e emagrecimento.

AUTOATIVIDADE



1 Todos os problemas causados pelo efeito determinístico estão relacionados com o aumento da dose. Através desse aumento, os danos crescem e as alterações são somáticas. Podemos dizer que a descamação úmida da pele ocorre com doses acima de:

- a) () 20 Gy.
- b) () 50 Gy.
- c) () 5 Gy.
- d) () 2,5 Gy.
- e) () 7 Gy.

2 Um determinado efeito está relacionado com a dose de radiação recebida. Essa dose pode fazer com que ocorram alterações no DNA. Os danos causados no DNA pelo efeito causam a alteração e a desordem estrutural na célula, que continua a se reproduzir, ou seja, esse efeito traz problemas hereditários. Podemos dizer que esse efeito é:

- I- Estocástico.
- II- Determinístico.
- III- Biológico.
- IV- Químico.
- V- Físico.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) () Apenas a I está correta.
- b) () Apenas I e II estão corretas.
- c) () Apenas a III está correta.
- d) () Todas estão corretas.

3 Descreva a interação da radiação ionizante na célula.

4 Cite os efeitos que determinam o efeito biológico.

RESÍDUOS SÓLIDOS E LÍQUIDOS

1 INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos e líquidos, produzidos nos serviços de Medicina Nuclear, são chamados de rejeitos radioativos. Os rejeitos radioativos são classificados como qualquer acessório ou material que teve contato com um radiofármaco.

Os rejeitos radioativos não são jogados em qualquer local, precisam de cuidados especiais e, para que ocorram esses cuidados, a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) tem normas importantes que trazem os critérios gerais e os requisitos para segurança e proteção radiológica.

A norma 8.01 “Gerência de Rejeitos Radiativos de Baixo e Médio Nível de Radiação” tem, como base, os requisitos de segurança para gerência desses rejeitos, compreendendo o nível baixo ou médio de radiação ou de meia vida muito curta.

Além da Norma CNEN 8.01, a 8.02 trata do licenciamento de depósitos dos rejeitos de níveis baixos e médios de radiação. Perceba que, além da gerência do rejeito, é necessário o depósito, para a guarda.

A Norma da CNEN, 3.05, que trata dos “Requisitos de Proteção Radiológica para os Serviços de Medicina Nuclear”, também cita, no seu texto, no Capítulo IV, o gerenciamento dos rejeitos radiativos gerados em serviços de Medicina Nuclear.

Como o serviço de Medicina Nuclear necessita de radiofármacos, que são fontes de radiação não seladas, e de elementos radioativos, que são usados para terapia em pacientes, todos os rejeitos gerados precisam de normalização para o correto descarte.

A Norma 6.06, da CNEN, tem, como objetivos, a seleção e a escolha de locais para depósitos de rejeitos radioativos, garantindo o confinamento desses materiais, protegendo o meio ambiente e o homem de possíveis efeitos nocivos que possam ser causados pela radiação.

Antes de ocorrer à seleção do local que deve ser o depósito desses rejeitos radiativos, deve passar pelos critérios de aceitação, que estão contidos na Norma 6.09, da CNEN, que trata dos critérios para armazenamento de rejeitos radiativos de baixo e médio níveis de radiação.

Acadêmico, agora, fique atento a esse tópico, que tratará da normalização e dos procedimentos que precisam ser realizados com os resíduos líquidos e sólidos gerados pelo serviço de Medicina Nuclear.

2 REJEITOS RADIOATIVOS EM SERVIÇOS DE MEDICINA NUCLEAR

A partir de agora, veremos pontos importantes acerca de como o serviço de Medicina Nuclear deve proceder com os rejeitos gerados no dia a dia.

2.1 GERENCIAMENTO DE REJEITOS

A Norma 3.05, da CNEN, cita, no seu texto, que todo serviço de Medicina Nuclear deve ter um gerenciamento do rejeito gerado, seja sólido ou líquido, e que, para o correto gerenciamento, é necessário obedecer aos requisitos mínimos citados nas resoluções específicas da CNEN.

O Art. 63, da Norma 3.05, cita que o gerenciamento dos rejeitos radioativos deve incluir:

- Descrição dos rejeitos gerados no que tange às características físicas, químicas, biológicas e radiológicas.
- Volume gerado e respectiva atividade.
- Existência, quando aplicável, de outros riscos associados, como putrescibilidade, patogenicidade e inflamabilidade.
- Classificação dos rejeitos gerados, de acordo com resolução específica da CNEN.
- Detalhamento dos procedimentos de coleta, segregação, acondicionamento e identificação dos rejeitos gerados, descrevendo, inclusive, a capacidade volumétrica de armazenamento do Serviço de Medicina Nuclear e dos volumes ou recipientes a serem utilizados.

Os volumes e os recipientes a serem utilizados para guardar esses rejeitos radioativos devem conter o conteúdo do volume, como luvas, frascos e seringas, as características físicas e químicas do elemento radioativo utilizado e o tipo de radionuclídeo que está presente nos materiais. Importante citar, nesse volume ou recipiente em que está o material sujo pelo radionuclídeo, que a atividade estimada do armazenamento desse material, por exemplo, o tecnécio-99m, tem meia vida de seis horas, e a seringa que é utilizada para a administração desse radiofármaco no paciente deve ser colocada dentro de um recipiente específico e descartada como rejeito.

A data prevista de armazenamento e de liberação do recipiente que contém essa seringa, ou essas seringas, também necessita ser informada no documento que é criado para o recipiente.

Acerca da dispensa desses rejeitos radioativos obtidos em serviços de Medicina Nuclear, é necessário o serviço descrever alguns procedimentos que contemplam a dispensa de resíduos sólidos no sistema de coleta de resíduo urbano, dispensa de rejeitos radioativos líquidos na rede de esgoto, transferência dos rejeitos radioativos para local credenciado pela CNEN e eliminação dos rejeitos que alcançam o limite de dispensa.

Observe um local de armazenamento da CNEN para rejeitos que precisam ser recolhidos e necessitam de destinação apropriada. A CNEN relata que controla, até hoje, o depósito final dos rejeitos radioativos de Abadia de Goiás, cidade onde ocorreu o acidente com Césio-137, em Goiânia.

FIGURA 5 – DEPÓSITO DA CNEN PARA ARMAZENAMENTO DE REJEITOS RADIATIVOS



FONTE: <cnen.gov.br>. Acesso em: 24 fev. 2021.

ATENÇÃO

Perceba que são mostrados os recipientes nos quais estão os rejeitos radioativos. Veja a organização do espaço. Cada embalagem dessa passa por monitoramento para detectar os níveis de radiação.



3 REJEITOS RADIOATIVOS DE MÉDIO E BAIXO NÍVEIS DE RADIAÇÃO

Agora, veremos outras partes importantes que devem ser levadas em consideração em relação aos rejeitos gerados em serviços de Medicina Nuclear.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS REJEITOS RADIOATIVOS

A Norma 8.01, da CNEN, classifica os rejeitos radioativos. Vamos conhecer esses rejeitos?!

Os rejeitos radioativos são classificados em três classes:

- Classe 0: Rejeitos Isentos (RI): rejeitos contendo radionuclídeos com valores de atividade ou de concentração de atividade em massa ou volume, inferiores ou iguais aos respectivos níveis de dispensa estabelecidos nos Anexos II e VI.
- Classe 1: Rejeitos de Meia Vida Muito Curta (RVMC): rejeitos com meia vida inferior ou da ordem de 100 dias, com níveis de atividade ou de concentração em atividades superiores aos respectivos níveis de dispensa.
- Classe 2: Rejeitos de Baixo e Médio Níveis de Radiação (RBMN): rejeitos com meia vida superior à dos rejeitos da Classe 1, com níveis de atividade ou de concentração em atividades superiores aos níveis de dispensa estabelecidos nos Anexos II e VI, e com potência térmica inferior a 2 kW/m³.
- Classe 2.1: Meia Vida Curta (RBMN-VC): rejeitos de baixo e médio níveis de radiação, contendo emissores beta/gama, com meia vida inferior ou da ordem de 30 anos e com concentração de radionuclídeos emissores alfa de meia vida longa, limitada em 3700 kBq/kg em volumes individuais e com um valor médio de 370 kBq/kg para o conjunto de volumes.
- Classe 2.2: Rejeitos Contendo Radionuclídeos Naturais (RBMN-RN): rejeitos de extração e de exploração de petróleo, contendo radionuclídeos das séries do urânio e do tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa estabelecidos no Anexo VI desta Norma.
- Classe 2.3: Rejeitos contendo Radionuclídeos Naturais (RBMN-RN): rejeitos contendo matérias-primas minerais, naturais ou industrializadas, com radionuclídeos das séries do urânio e do tório em concentrações de atividade ou atividades acima dos níveis de dispensa estabelecidos no Anexo VI desta Norma.
- Classe 2.4: Rejeitos de Meia Vida Longa (RBMN-VL): rejeitos não enquadrados nas Classes 2.2 e 2.3, com concentrações de radionuclídeos de meia vida longa que excedem as limitações para classificação, como rejeitos de meia vida curta.
- Classe 3: Rejeitos de Alto Nível de Radiação (RAN): rejeitos com potência térmica superior a 2kW/m³ e com concentrações de radionuclídeos de meia vida longa que excedem as limitações para classificação, como rejeitos de meia vida curta.

As embalagens utilizadas para armazenar os rejeitos radioativos precisam ser adequadas ao tipo de elemento, ou seja, os materiais que têm contato com determinado elemento radioativo. Nenhuma embalagem deve apresentar contaminação superficial. Cada embalagem deve possuir vedação adequada para evitar perda do conteúdo.

O transporte das embalagens, contendo os rejeitos radioativos, deve ser realizado em conformidade com a Norma CNEN 5.01, que aborda o transporte de materiais radioativos.

3.2 ARMAZENAMENTO INICIAL OU INTERMEDIÁRIO DOS REJEITOS RADIOATIVOS

Como existe um grande uso do tecnécio-99m em serviços de Medicina Nuclear, através do gerador, faremos a abordagem da classe 1 com base no molibdênio, que é o pai do tecnécio-99m.

Segundo o Art. 22, da Norma 8.01, o depósito inicial ou intermediário de rejeitos da Classe 1 deve:

- conter, com segurança, os rejeitos, até que possam ser eliminados ou removidos para local determinado pela CNEN;
- garantir a proteção física dos rejeitos, com provisão de barreiras de segurança e evitando o acesso não autorizado;
- dispor de controle de liberação de material radioativo para o meio ambiente;
- dispor de um sistema de monitoração de área;
- situar-se em local cercado e sinalizado, com acesso restrito a pessoal autorizado;
- ter piso e paredes impermeáveis e de fácil descontaminação;
- apresentar delimitação clara das áreas supervisionadas e controladas e, se necessário, locais reservados à monitoração e à descontaminação individuais;
- dispor de meios para evitar a decomposição de rejeito biológico;
- dispor de procedimentos apropriados sempre afixados em paredes, quadros e outros lugares bem visíveis, para facilitar o manuseio de materiais, minimizar a exposição de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) e de indivíduos do público, orientar as ações de resposta a emergências e dar outras instruções;
- permitir, a qualquer momento, acesso para inspeção visual e identificação dos volumes;
- dispor de meios para proteção e combate a incêndio;
- ter capacidade de armazenamento adequada, de modo a minimizar riscos de acidentes durante o manuseio de rejeitos pelo tempo que se fizer necessário.

NOTA

Os rejeitos radioativos devem ser mantidos separados de outros produtos perigosos, como explosivos, inflamáveis, oxidantes e corrosivos.



3.3 DISPENSA DE REJEITOS SÓLIDOS

A dispensa de rejeitos sólidos só pode ser realizada no sistema de coleta de resíduos urbanos, quando a atividade estiver em conformidade com o anexo IV, da Norma 8.01. Frascos, seringas e outros recipientes que tenham líquidos radioativos só podem ser dispensados no sistema de coleta de resíduos de serviços de saúde ou resíduo urbano após a remoção de qualquer líquido radioativo remanescente.

Para fins de cálculo do tempo de decaimento necessário para dispensa de rejeitos sólidos no sistema de coleta de lixo urbano, deve ser considerado que 10% do conteúdo radioativo inicial que adsorvido no frasco, seringa ou outros materiais que têm contacto com o líquido radioativo, salvo se estiver disponível um método confiável de medida experimental.

Quando os rejeitos radioativos forem liberados no lixo urbano, toda a sinalização acerca da presença da radiação ionizante deve ser removida.

3.4 DISPENSA DE REJEITOS LÍQUIDOS

A dispensa de rejeitos líquidos, na rede de esgoto, deve estar sujeita aos seguintes requisitos:

- o rejeito deve ser prontamente solúvel ou de fácil dispersão em água;
- a quantidade de cada radionuclídeo, liberada, mensalmente, pela instalação na rede de esgotos sanitários, não deve exceder a quantidade que, se fosse diluída no volume médio mensal de esgoto, seria liberada pela instalação;
- a quantidade anual total de radionuclídeos liberada na rede de esgoto sanitário não deve exceder os valores especificados;
- a eliminação de excreta de pacientes internados com doses terapêuticas de radiofármacos deve ser feita de acordo com instruções estabelecidas na Norma CNEN NN 3.05, Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear.

LEITURA COMPLEMENTAR



VANTAGENS DA ETAPA DE SEGREGAÇÃO NO GERENCIAMENTO DOS REJEITOS RADIOATIVOS

Regina Bitelli Medeiros
Maria Fernanda S. S. Mattos

Com o crescente uso de radionuclídeos na pesquisa, a gerência dos rejeitos radioativos se tornou essencial para garantir a segurança profissional e a preservação do meio ambiente. A estimativa da atividade dos rejeitos sólidos permite determinar a data do descarte na rede de coleta urbana, com base no limite de 74 Bq/g, estabelecido pelas normas. O objetivo deste trabalho é demonstrar as vantagens da segregação de rejeitos por atividade específica, minimizando o volume armazenado até o descarte final. Foi estimada a atividade específica residual em ensaios com ^{32}P e ^3H , e determinado o tempo de armazenamento necessário, além do volume de resíduo gerado no processo de segregação por atividade específica nas etapas do experimento. Esses dados foram comparados com os dados da atividade específica do total dos rejeitos gerados no processo, na razão de 2% da atividade total manipulada e massa total gerada. A segregação por etapas permitiu a redução do volume e do tempo de armazenamento, quando comparados ao gerenciamento sem segregação. Nos ensaios com ^3H , 20% do rejeito total gerado não foi descartado, enquanto, nos ensaios com ^{32}P , 90% foi descartado após 38 dias.

INTRODUÇÃO

O uso de radionuclídeos na pesquisa e nas aplicações clínico-laboratoriais tem crescido substancialmente. As quantidades e as atividades utilizadas, embora pequenas, exigem, além dos cuidados no manuseio, a gerência dos rejeitos radioativos, para garantir a segurança nas atividades com radiação e preservação do meio ambiente. O gerenciamento dos rejeitos radioativos, líquidos e sólidos, implantado desde 1998 nos laboratórios de pesquisas da Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), revelou que parte dos rejeitos era armazenada desnecessariamente ou descartada sem critério, desconsiderando as normas de proteção radiológica da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Os radionuclídeos ^{32}P , ^{35}S , ^{125}I , ^3H , ^{14}C , ^{51}Cr e ^{45}Ca são rotineiramente manuseados nos laboratórios da UNIFESP, e a utilização destes gera rejeitos nas formas sólida e líquida. Esse conjunto de radionuclídeos é responsável pelo montante de 478 kg de rejeitos sólidos gerados em 2000 e 487 kg em 2001.

Os rejeitos sólidos compactáveis, como luvas, ponteiros de micropipetas, papéis de limpeza, algodão, materiais de forração de bancadas, tubos e frascos plásticos ou de vidro, possuem densidade média de $0,1 \text{ g/cm}^3$. Esses materiais são classificados como “rejeito sólido β, γ , de baixo nível de energia”.

Os rejeitos devem ser segregados por estado físico (sólido ou líquido) e por radionuclídeo. Esses são coletados no local de geração, em recipientes específicos, de acordo com o radionuclídeo e as características físicas. Em seguida, são identificados com etiquetas, contendo a estimativa da atividade, a data do descarte e o símbolo de radiação. Conforme Resolução CONAMA e normas ABNT, os rejeitos radioativos sólidos são coletados em saco plástico (cor amarela) com espessura entre 0,08 - 0,2 mm, sendo que os perfurocortantes são acondicionados em caixas rígidas identificadas e forradas com saco plástico.

A caracterização dos rejeitos gerados nas diversas etapas do experimento permite a segregação com base na atividade específica dos mesmos, levando à redução do tempo de armazenamento, de parte do volume total produzido e mesmo de parte do volume estocado.

O limite de descarte para rejeitos sólidos para qualquer radionuclídeo é de 74 Bq/g (2 nCi/g), sendo que materiais com atividade específica abaixo desse limite podem ser descartados no sistema de coleta de resíduo urbano.

O objetivo deste trabalho é demonstrar que a etapa de segregação de rejeitos por atividade específica é vantajosa, resultando na minimização do volume dos rejeitos armazenados antes da liberação final.

METODOLOGIA

Estimou-se a atividade específica residual em alguns ensaios que utilizam ^{32}P e ^3H , e determinou-se o tempo de armazenamento necessário e o volume gerado no processo de segregação por atividade específica em determinadas etapas do experimento. Esses dados foram comparados com a atividade específica do total de rejeitos sólidos gerados durante todo o processo, estimando-se esse valor pela razão entre a atividade adsorvida nos rejeitos sólidos, tomada como 2% da atividade manipulada, e a massa total gerada.

Nos estudos de biologia molecular, muitas vezes, torna-se necessária a utilização de sondas de DNA (Oligonucleotídeos ou fragmentos de DNA), marcadas com radioisótopo. O pesquisador utiliza uma fonte de ^{32}P de 370 MBq/ml (a-[^{32}P] - dATP ou a-[^{32}P] - dCTA), adquirida em frasco de acrílico. Uma “solução-mãe” de 1,85 MBq é preparada para iniciar a etapa de marcação da sonda de DNA.

Nas diversas fases do experimento, o pesquisador utiliza ponteiros, tubo *Falcon* de 50 ml, *ependorf* de 1,5 ml, frasco padrão, luvas e outros materiais, gerando um volume total de 117,00 g de resíduos sólidos, por experimento.

Em estudos de avaliação hormonal, o pesquisador utiliza uma fonte padrão de ^3H com 9,25 MBq/ml para os ensaios de testosterona (1,2,6,7,16,17 ^3H (N)) e 9,25 MBq/0,25 ml para aldosterona (D[1,2,6,7 ^3H (N)]).

No caso da testosterona, uma “solução-mãe” de 1,85 MBq é preparada, e utilizadas 462,5 kBq nos ensaios de competição. Para aldosterona 37 kBq de uma “solução-mãe” de 7,4 MBq, é utilizado nesse tipo de ensaio.

Ponteiras de 200 ml a 1000 ml, tubos de cintilação com e sem adição de carvão ativado, frasco de vidro, frasco da solução padrão, luvas e outros materiais são gerados com massa total de 231,00g para aldosterona e 323,00g para testosterona, por experimento.

Estimaram-se, para cada experimento, as atividades específicas residuais nas diferentes etapas dos estudos, comparadas com a atividade específica, considerando o volume total de rejeitos gerados.

Seguem a quantidade e a massa correspondentes dos rejeitos sólidos gerados por experimento de aldosterona, testosterona e marcação de DNA.

TABELA 1. Resíduos sólidos gerados por experimento e massa total, para os diferentes ensaios

Material		Quantidade utilizada		
Tipo	Massa média por unidade (g)	Experimento (Radioisótopo)		
		Aldosterona (^3H)	Testosterona (^3H)	Marcação DNA (^{32}P)
Frasco Padrão	32,00	1	1	0
Frasco Padrão	25,00	0	0	1
Frasco Solução Mãe	5,77	1	1	0
Frasco de Vidro	2,70	1	1	0
Ponteira até 200 μl	0,29	3	3	5
Ponteira 5 a 1000 μl	0,70	2	2	0
Tubo <i>Falcon</i> 50 ml	15,00	0	0	1
Tubo Cintilação 7 ml	2,56	48	84	0
Tubo Cintilação 7 ml	2,10	2	2	0
<i>Eppendorf</i> 1,5 ml	0,86	0	0	1
Luva	13,66	3	3	4
Outros	20,00	1	1	1
Massa total de materiais utilizados por experimento (g)		231,00	323,00	117,00

RESULTADOS

Seguem os resultados obtidos, considerando as atividades específicas dos diversos tipos de materiais que constituem os rejeitos. Como pode ser observado, com a segregação por etapas do ensaio, há uma redução de volume armazenado e uma grande parte dos rejeitos é armazenada por um período menor de tempo, quando comparado ao gerenciamento sem segregação. No caso dos ensaios com ^3H , aproximadamente,

20% do total de resíduo gerado não pode ser descartado. Nos ensaios com ^{32}P , 90% dos rejeitos gerados são descartados depois de decorridas 2,5 meia-vidas do radioisótopo ($T_{1/2}=15$ dias), tempo menor, se considerarmos que é necessário o total de 6,5 $T_{1/2}$ para o decaimento de todo o rejeito gerado não segregado por atividade específica. Além disso, foi possível ser mais restritivo no descarte do frasco padrão.

TABELA 2. Descrição dos rejeitos gerados, estimativa de suas atividades e tempo necessário de armazenagem e descarte final

Experimento	Radioisótopo	Material utilizado	Massa Resíduo (g)	Atividade Manuseada (MBq)	Atividade Residual (Bq/g)	Tempo de Armazenagem
Marcação Sonda de DNA	^{32}P Não Segregado	Frasco padrão, ponteiras, tubo <i>Falcon</i> , <i>ependorf</i> , luvas, outros.	117,00	37	$6,33 \times 10^3$	96 dias
	^{32}P Segregado	Ponteiras, tubo <i>Falcon</i> , <i>ependorfs</i> , luvas, outros.	92,00	1,85	407	37 dias
		Frasco padrão	25,00	370	296×10^3	180 dias
Testosterona	^3H Não Segregado	Frasco padrão, ponteiras 220 μl e 1000 μl , frasco solução "mãe", frasco vidro, tubos de cintilação, luvas, outros	323,00	9,25	618	>>2 anos
	^3H Segregado	Frasco padrão	32,00	9,25	$5,77 \times 10^3$	>> 2 anos
		Ponteiras 220 μl e frasco da solução "mãe"	6,00	1,85	$6,07 \times 10^3$	>> 2anos
		Ponteiras 1000 μl e frasco vidro	4,00	$8,51 \times 10^{-3}$	44,4	----
		86 tubos, ponteiras 1000 μl , luvas, outros.	258,00	44×10^{-3}	3,7	----
Aldosterona	^3H Não Segregado	Frasco padrão, frasco "mãe", ponteiras, 50 tubos, luvas, outros.	200,00	9,25	925	>> 2anos
	^3H Segregado	Frasco padrão, frasco "mãe", ponteiras.	38,00	4,88	$9,25 \times 10^3$	>> 2 anos
		Ponteiras 1000 μl , 50 tubos, luvas, outros.	160	336	0,037	-----
		Frasco e ponteiras 1000 μl	3,40	33,6	196	>> 2 anos

DISCUSSÃO

A não segregação por etapas dos rejeitos sólidos faz com que um volume grande seja armazenado por um tempo prolongado ou liberado imediatamente, apesar de possuírem, no seu interior, alta atividade específica, uma vez que a atividade dos rejeitos sólidos não é uniformemente distribuída no volume total. Não há como precisar a atividade residual dos materiais, por isso, deve-se estimar a atividade adsorvida nos diversos materiais e nas várias etapas do experimento. No caso dos radioisótopos de meia-vida longa, é muito importante que a estimativa seja feita por etapas, pois, em geral, estes necessitam de um tempo superior a dois anos de armazenagem. No caso do ^3H , tempo de meia-vida de 12 anos, os rejeitos devem ser encaminhados para tratamento, o que gera um custo elevado para os laboratórios.

CONCLUSÃO

A minimização do volume de rejeitos gerados pode ser obtida de modo menos oneroso: separando rejeitos com maior atividade específica dos de menor atividade, e por meio do reaproveitamento de parte dos materiais, como frascos de vidros, que podem ser descontaminados. O pesquisador deve avaliar as diversas etapas de ensaio para que possa prever em quais dessas pode efetuar a separação dos rejeitos de atividade específica maior.

Esse trabalho mostra que, com a segregação por etapas do ensaio do ^3H , 80% do rejeito radioativo gerado pode ser imediatamente descartado. O volume do rejeito não descartado, como ponteiros de 200 ml e frasco padrão, é muito pequeno em relação ao volume total gerado ou, até mesmo, do volume descartado.

Com relação ao ensaio do ^{32}P , resultados mostraram que parte do rejeito gerado poderia ser descartada com atividade acima do limite de 74 Bq/g, casos não segregados por atividade específica. Essa não segregação dos rejeitos possibilita o aumento de riscos aos profissionais envolvidos no processo de coleta dos rejeitos e uma ameaça ao meio ambiente.

FONTE: E05_453.PDF (ipen.br). Acesso em: 24 fev. 2021.

RESUMO DO TÓPICO 2

Neste tópico, você aprendeu:

- Os resíduos sólidos e líquidos produzidos nos serviços de Medicina Nuclear são chamados de rejeitos radioativos. Estes são classificados como qualquer acessório ou material que têm contato com o radiofármaco.
- A Norma 8.01 “Gerência de Rejeitos Radiativos de Baixo e Médio Nível de Radiação” tem, como base, os requisitos de segurança para gerência desses rejeitos, compreendendo o nível baixo ou médio de radiação, ou de meia-vida muito curta.
- A Norma da CNEN 3.05 “Requisitos de Proteção Radiológica para os Serviços de Medicina Nuclear” também cita, no seu texto, no Capítulo IV, o gerenciamento dos rejeitos radiativos gerados em serviços de Medicina Nuclear.
- A Norma 6.06, da CNEN, tem, como objetivos, a seleção e a escolha de locais para depósitos de rejeitos radioativos, garantindo o confinamento desses materiais pelo tempo, protegendo o meio ambiente e o homem de possíveis efeitos nocivos que possam ser causados pela radiação.
- Os volumes e os recipientes a serem utilizados para guardar os rejeitos radioativos devem conter o conteúdo do volume, como luvas, frascos e seringas, as características físicas e químicas do elemento radioativo utilizado e o tipo de radionuclídeo que está presente nos materiais.
- O local de armazenamento provisório dos rejeitos radioativos deve ser no serviço de Medicina Nuclear, que necessita estar sinalizado e com acesso controlado.
- Os rejeitos radioativos da Classe 0 são rejeitos isentos (RI), que contêm radionuclídeos com valores de atividade ou de concentração de atividade, em massa ou volume, inferiores ou iguais aos respectivos níveis de dispensa.
- As embalagens utilizadas para armazenar os rejeitos radioativos precisam ser adequadas ao tipo de elemento radioativo, ou seja, os materiais que têm contato com determinado elemento radioativo. Nenhuma embalagem deve apresentar contaminação superficial. Cada embalagem deve possuir vedação adequada para evitar perda do conteúdo.
- O transporte das embalagens, contendo os rejeitos radioativos, deve ser realizado em conformidade com a Norma CNEN 5.01, que aborda o transporte de materiais radioativos.
- A dispensa de rejeitos sólidos só pode ser realizada no sistema de coleta de resíduos urbanos quando a atividade estiver em conformidade com o anexo IV, da Norma 8.01.

AUTOATIVIDADE



1 Uma norma tem, como base, os requisitos de segurança para gerência dos rejeitos, compreendendo o nível baixo ou médio de radiação, ou de meia-vida muito curta. Podemos dizer que essa norma é:

- a) CNEN 8.01 "Gerência de Rejeitos Radiativos de Baixo e Médio Nível de Radiação".
- b) CNEN 8.02 "Licenciamento de Depósitos dos Rejeitos de Níveis Baixo e Médio de Radiação".
- c) CNEN 3.05 "Requisitos de Proteção Radiológica para os Serviços de Medicina Nuclear".
- d) CNEN 6.06 "Seleção e Escolha de Locais para Depósitos de Rejeitos Radioativos".
- e) CNEN 3.01 "Requisitos Básicos de Radioproteção".

2 A Norma 3.05, da CNEN, cita, no seu texto, que todo serviço de Medicina Nuclear deve ter um gerenciamento do rejeito gerado, seja sólido ou líquido, e que, para o correto gerenciamento, é necessário obedecer aos requisitos mínimos citados nas resoluções específicas da CNEN. Podemos dizer que esses requisitos são:

- I- O volume gerado e a respectiva atividade.
- II- Descrição dos rejeitos gerados no que tange às características físicas, químicas, biológicas e radiológicas.
- III- A existência, quando aplicável, de outros riscos associados, como putrescibilidade, patogenicidade e inflamabilidade.
- IV- Classificação dos rejeitos gerados, de acordo com resolução específica da CNEN.
- V- Detalhamento dos procedimentos de coleta, segregação, acondicionamento e identificação dos rejeitos gerados.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a I está correta.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas a III está correta.
- d) Todas estão corretas.

3 Comente acerca da dispensa de rejeitos radioativos.

4 Cite os requisitos para a dispensa de rejeitos líquidos na rede de esgoto.

DESCONTAMINAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A descontaminação de radiofármacos precisa ser realizada quando houver algum derramamento dentro da sala de preparo do radiofármaco, pelo motivo de ocorrerem respingos no momento da eluição do gerador de tecnécio-99m.

Para que a descontaminação seja realizada de maneira eficiente, é importante que os profissionais que trabalham no setor de Medicina Nuclear tenham informações referentes a esse procedimento.

O trabalho, na Medicina Nuclear, envolve riscos de contaminação da equipe envolvida, pelo fato do uso de fontes não seladas, podendo ocasionar o acúmulo de radiação ao longo do tempo, favorecendo a ocorrência de efeitos estocásticos.

O radionuclídeo mais utilizado em serviços de Medicina Nuclear é o tecnécio-99m, sendo, o seu derramamento, mais relatado, e fazendo com que as medidas de limpeza do derramamento sejam realizadas.

A Norma CNEN 3.05 (2013) "Requisitos de Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear" cita a monitoração da taxa de dose e a contaminação de superfícies.

O laboratório de radiofarmácia é o local onde são armazenadas as fontes de radiação. Nesse local, ocorre a marcação dos fármacos com tecnécio-99m, sendo o local onde os profissionais que trabalham na área de Medicina Nuclear ficam mais expostos.

É apropriado que os profissionais fiquem o menor tempo possível dentro do laboratório de radiofarmácia, por medidas de proteção radiológica. Esses profissionais são chamados de Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOEs).

O ambiente do laboratório de radiofarmácia necessita estar sinalizado com o símbolo internacional da radiação ionizante e de área controlada, informando que só pessoas autorizadas podem estar no local.

O laboratório de manipulação e armazenamento de fontes radioativas em uso (laboratório de radiofarmácia) deve ser projetado com as especificações solicitadas em normas, justamente para prevenir problemas com a radiação.

A solicitação de construção do laboratório de radiofarmácia pelas normas competentes ajuda na descontaminação, como das bancadas, que são utilizadas no processo de eluição do gerador de tecnécio-99m.

2 LABORATÓRIO DE RADIOFARMÁCIA

Acadêmico, como mencionado na introdução deste tópico, o laboratório de radiofarmácia é o local onde é realizada a marcação dos fármacos com tecnécio-99m para gerar os radiofármacos.

A cada solicitação de exame específico, é utilizado um fármaco para marcação com tecnécio-99m. Esse procedimento deve ser realizado com grande cuidado para que não ocorram contaminações das bancadas.

A Norma CNEN 3.05 (2013) cita, no seu texto, que o laboratório de manipulação e armazenamento de fontes radioativas em uso (laboratório de radiofarmácia) deve possuir bancadas com superfícies impermeáveis lisas, livres de rachaduras, e que sejam feitas de materiais que permitam a fácil descontaminação.

Outra importante recomendação é que a cuba precisa ter 40 cm de profundidade, com torneira manual, de modo a evitar respingos ao redor da cuba e um sistema de exaustão de ar que mantenha os níveis de dose para os IOE.

NOTA

No laboratório de radiofarmácia, o indivíduo ocupacionalmente exposto deve permanecer o menor tempo possível para evitar contato com o radionuclídeo tecnécio-99m ou com outros radionuclídeos que estejam estocados.



Além dos requisitos solicitados pela norma competente, é necessário que o laboratório de radiofarmácia tenha monitores de área para avaliar as doses de exposição no ambiente. Esses monitores devem ficar em locais de fácil visualização e, se for notado que o nível de radiação sobe, o acionamento deve ser realizado imediatamente. Não só no setor de radiofarmácia esses monitores devem ser instalados, mas, também, em outros locais do serviço de Medicina Nuclear. Essa ação deve demonstrar que o serviço é preocupado em garantir condições seguras de trabalho.

No setor de radiofarmácia, podem existir até três bancadas, mas só uma é utilizada para manipulação dos radiofármacos. Essas bancadas devem ser projetadas para fácil descontaminação e recobertas com material de papel absorvente e plástico.

Geralmente, na bancada de preparo dos radiofármacos, existe uma câmara de ionização do tipo poço, gerador ou geradores de molibdênio⁹⁹/tecnécio⁹⁹, uma capela blindada para manipulação, pinças para manuseio de fontes e blindagens para radiofármacos, como de seringa e de soro.

3 ADEQUAÇÕES DO SETOR DE MEDICINA NUCLEAR QUE FACILITAM NO PROCESSO DE DESCONTAMINAÇÃO

O serviço de Medicina Nuclear necessita ter construção específica, de acordo com a Norma CNEN 3.05, que visa facilitar o processo de descontaminação se houver algum derramamento ou acidente com o material radioativo utilizado.

3.1 PISOS

Os pisos dos locais que manipulam radiofármacos, como a sala de administração, o laboratório de manipulação, a sala de pacientes injetados e a sala de exames e de repouso precisam ter os cantos arredondados e ser impermeáveis, sem nenhuma porosidade na estrutura, ou seja, livres de ranhuras.

Geralmente, o piso dos locais descritos é impermeabilizado com uma manta vinílica. Segue a junção do piso com a parede, ou seja, os cantos arredondados que facilitam a descontaminação do local.

FIGURA 6 – PISO COM CANTOS ARREDONDADOS



FONTE: Secon Serviços de Radioproteção (2015, p. 1)

3.2 PAREDES

As paredes devem ser construídas com a finalidade de descontaminação, precisam ser impermeáveis, sem porosidade na superfície, e a pintura deve ser lavável.

Atinta, geralmente, utilizada para as paredes dos locais que utilizam radiofármacos em um serviço de Medicina Nuclear, precisa ser acrílica, e a massa utilizada nessa parede precisa ser baritada, ou seja, com chumbo. A quantidade de chumbo utilizada na parede precisa levar em consideração os tipos de radionuclídeos utilizados.

3.3 TORNEIRAS

As torneiras utilizadas dentro dos locais que manipulam ou administram os radiofármacos precisam ser do tipo que não seja necessário contato das mãos para o fechamento da água.

É indispensável a instalação nos seguintes ambientes:

- Laboratório de radiofarmácia.
- Sala de administração de radiofármacos.
- Sala dos rejeitos radioativos.
- Banheiro de pacientes injetados.
- Sala de inalação pulmonar.
- Sala de repouso de pacientes.

NOTA

Perceba a quantidade de setores, dentro do setor de Medicina Nuclear, que necessita de instalações específicas para evitar a contaminação e ajudar no processo de descontaminação.



3.4 PIAS

As pias precisam ter cubas de 40 cm de profundidade e ser constituídas de material inox, por causa da fácil descontaminação. Esse tipo de pia deve estar presente na sala de radiofarmácia, na sala de administração dos radiofármacos e na sala de rejeitos radioativos.

3.5 EXAUSTOR

Como recomendado pela Norma 3.05, da CNEN, a exaustão deve estar presente na sala do laboratório de radiofarmácia, na sala de rejeitos radioativos e na sala de inalação pulmonar.

O exaustor serve para diminuir a quantidade da concentração de radionuclídeos no ar, sendo necessária a instalação no teto ou lateralmente, na parede.

Alguns radionuclídeos utilizados para exames, dentro do setor, principalmente, dentro da sala de inalação pulmonar, como o Iodo 131, têm alta volatilidade e se concentram no ambiente com extrema facilidade.

Segue um exaustor do tipo coifa, instalado acima da bancada de manipulação.

FIGURA 7 – EXAUSTOR TIPO COIFA



FONTE: Secon Serviços de Radioproteção (2015, p. 5)

3.6 ACONDICIONAMENTO DE GERADORES RADIOATIVOS

O gerador de tecnécio-99m deve ser acondicionado em uma bancada, permitindo que uma tampa seja aberta para a realização do processo de eluição. Esse local de armazenamento dos geradores de tecnécio-99m faz com que não seja necessário remover o gerador de local, prevenindo derramamentos e descontaminações.

Segue como pode ser realizada a guarda do gerador de eluição.

FIGURA 8 – ACONDICIONAMENTO DE GERADORES DE TECNÉCIO-99M



FONTE: Secon Serviços de Radioproteção (2015, p. 9)

NOTA

Após a abertura da tampa que protege o gerador, a eluição do radiofármaco pode ser realizada normalmente.



3.7 SALA DE REJEITOS RADIOATIVOS

A sala de rejeitos radioativos deve ter prateleiras de fácil descontaminação, pintura lavável e cantos arredondados. O ambiente deve ter ventilação com exaustores e, se necessário, a depender do tipo de serviço prestado, uma geladeira, para guardar restos de alimentos de pacientes que são submetidos à iodoterapia.

3.8 BANHEIROS DOS FUNCIONÁRIOS

Os IOEs precisam ter um banheiro próprio com a sinalização de área controlada. Essa ação é importante para evitar que outros funcionários utilizem o banheiro dos indivíduos ocupacionalmente expostos e contaminem outros locais, fazendo com que outras áreas precisem de descontaminação.

NOTA

Para uma descontaminação eficiente nas salas onde existe manuseio ou uso de radiofármacos, o piso, as paredes e as bancadas precisam ser ideais à descontaminação.



LEITURA COMPLEMENTAR



DESCONTAMINAÇÃO DE SUPERFÍCIES NA USINA DE URÂNIO METÁLICO DA DIVISÃO DE PROCESSOS METALÚRGICOS IPEN/CNEN-SP

Paulo B. S. Cambises
Cláudio C. Almeida
Francisco M. F. Vasques
Teresinha M. Silva
Malvina B. Mitake
Demerval L. Rodrigues

Neste trabalho, apresentam-se as etapas adotadas na operação planejada para a descontaminação de superfícies na Usina de Urânio Metálico, que pertence à Divisão de Processos Metalúrgicos (prédios M-8 e M-9), do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares.

Esta operação envolveu o planejamento, o treinamento dos operadores da instalação, a análise dos locais de trabalho e os levantamentos radiométricos para monitoração da radiação externa e contaminação de superfícies.

O treinamento envolveu os procedimentos para descontaminação de superfícies, segregação de materiais e procedimentos práticos de monitoramento da contaminação individual externa do corpo. Também foram estabelecidas regras para o transporte de materiais radioativos, no âmbito interno da instalação, liberação de materiais e locais já descontaminados.

INTRODUÇÃO

Divisão de Processos Metalúrgicos do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Comissão Nacional de Energia Nuclear, IPEN-CNEN/SP, é uma das divisões mais antigas dessa instituição que opera com material radioativo, sendo muito bem assistida pelo grupo de radioproteção. No decorrer dos anos, a principal atividade foi de processar urânio natural, além de colocar os rejeitos radioativos em um depósito de salvaguarda, destinado, exclusivamente, a eles. Basicamente, essas atividades consistiam na conversão química de UF₄ pó em urânio metálico, seguido por processos metalúrgicos até a obtenção final de lingotes metálicos de urânio. Contudo, a partir de 1999, estudos, visando introduzir mudanças no processo de manuseio de materiais radioativos, conduziram a necessidade de reconstrução da planta-piloto da instalação. Para tanto, previamente, seria necessária a descontaminação das superfícies de pisos,

peças e equipamentos contidos nessa instalação, além da desmontagem do sistema operacional. As exigências operacionais de proteção radiológica na instalação incluíram a avaliação prévia dos valores de radiação externa, a contaminação de superfícies e do ar, os estudos para a melhoria das blindagens da instalação, o controle de acesso de pessoal, as condições estruturais das áreas sob o ponto de vista das seguranças física e radiológica, e a identificação dos pontos fracos que necessitavam de medidas de correção e/ou supervisão. Essas avaliações foram realizadas em 1999.

Seguindo as normas nacionais e recomendações internacionais e dando continuidade ao trabalho anterior, foram propostas, em 2000, medidas para a execução de atividades relacionadas com o uso de fontes de radiação ionizante com a devida segurança. Neste trabalho, apresentam-se as etapas adotadas na operação planejada para a descontaminação de superfícies na Usina de Urânio Metálico, que pertence à Divisão de Processos Metalúrgicos (prédios M-8 e M-9), do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Essa operação envolveu o planejamento, o treinamento dos operadores da instalação, a análise dos locais de trabalho e os levantamentos radiométricos para monitoração da radiação externa e contaminação de superfícies. Também foram estabelecidas regras para o transporte de materiais radioativos, no âmbito interno da instalação, liberação de materiais e locais já descontaminados.

PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO

Nesta fase, foram previstas e avaliadas todas as etapas da operação de descontaminação de superfícies, além dos riscos associados, elaborados os procedimentos de trabalho dentro de critérios das seguranças física e radiológica e definição de materiais, equipamentos e reagentes químicos utilizados.

TREINAMENTO

Em maio de 1999, foi ministrado, aos operadores da instalação, um treinamento teórico/prático, abordando fundamentos de radioproteção e procedimentos para a segregação de materiais, descontaminação de superfícies e monitoração da contaminação radioativa individual externa do corpo.

ANÁLISE DOS LOCAIS DE TRABALHO

Para a implementação da operação, inicialmente, foi necessário realizar um inventário detalhado dos materiais, equipamentos e fontes radioativas (^{235}U ; ^{234}Th ; UF_4 em pó e urânio metálico), manuseadas ou estocadas nas instalações dos prédios M-8 e M-9, pois era necessário conhecer, principalmente, a identificação, as quantidades máximas manipuladas, o tipo de irradiação emitida, as formas física e química em que se apresentavam, as blindagens, os locais de manipulação, os rejeitos, os efluentes, os valores de exposição e a contaminação de superfícies e do ar.

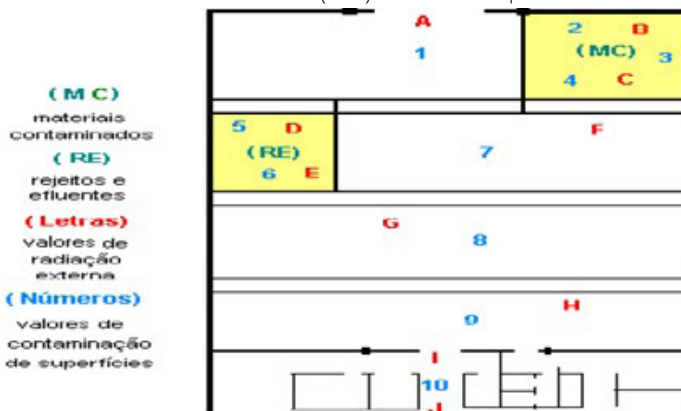
Foi necessário efetuar uma análise das instalações onde eram manipulados os radionuclídeos, além de identificar os trabalhadores envolvidos. Instalações: foi verificado que as condições estruturais das áreas atendiam às exigências sob o ponto de vista das seguranças física e radiológica, oferecendo condições ideais para a execução de atividades de descontaminação de superfícies, possuindo fornecimento de água e energia elétrica, capelas com sistema de exaustão-ambiente, pias interligadas a tanques estanques para retenção de efluentes, locais para estocagem provisória de rejeitos radioativos, almoxarifado para reagentes químicos, vestiários para higiene pessoal e ponto de controle de entrada de pessoal. Foram identificados, também, os pontos fracos, que necessitavam de medidas corretivas.

Trabalhadores envolvidos: de maio de 1998 a julho de 1999, foram realizados levantamentos das atribuições, responsabilidades e analisados os relatórios de monitoração individual com o objetivo de avaliar as doses recebidas pelos indivíduos nas condições normais de trabalho. Verificou-se que os trabalhadores envolvidos estavam em conformidade com as exigências legais, treinados e em condições para exercer as tarefas, envolvendo o manuseio com material radioativo. Nos relatórios de monitoração individual desse período, não constam ocorrências de anomalias e os valores de dose não excederam 1/10 (um décimo) do limite primário para trabalhadores, isto é, 5 mSv/ano, valor de registro.

MEDIDAS RADIOMÉTRICAS

Entre maio a julho de 1999, foram realizados, na instalação, antes, durante e após o início das operações, levantamentos radiométricos completos para verificação das condições de segurança radiológica. Essa etapa envolveu monitoração da contaminação de superfícies por métodos indiretos, monitoração da radiação externa, avaliação da concentração de ^{238}U no ar e análise de efluentes radioativos. Também foi necessária a elaboração de croquis a partir da planta da instalação, fichas de controle para monitoração da radiação externa e da contaminação de superfície, descritos, detalhadamente, os pontos de monitoração. Segue a localização dos pontos de medidas radiométricas que melhor representam as áreas ocupadas da instalação.

FIGURA 1. Prédio de Urânio Metálico (M-9) da divisão de processos metalúrgicos



Neste trabalho, será considerada apenas a instalação do prédio de urânio metálico (M-9), utilizado, até esse período, como depósito provisório de materiais contaminados, rejeitos e efluentes radioativos. Esse local foi previamente escolhido para o início dos procedimentos de descontaminação, pois seria destinado, futuramente, a receber e a estocar, provisoriamente, peças e equipamentos metalúrgicos provindos do prédio (M-8), à medida que fossem sendo descontaminados. Para este trabalho, serão descritas, a seguir, as medidas radiométricas obtidas antes e após a descontaminação do prédio (M-9).

TABELA 1. Resultados dos Valores de Radiação Externa no prédio (M-9) antes da descontaminação de superfícies

Pontos	Descrição	Taxa de dose ($\mu\text{Sv} / \text{h}$)
A	Porta de entrada	3,5
B	(MC) materiais contaminados	4,8
C	(MC) materiais contaminados	4,2
D	(RE) rejeitos e efluentes	5,8
E	(RE) rejeitos e efluentes	6,0
F	Próximo a (MC)	3,5
G	Centro do prédio (M-9)	2,0
H	Próximo à vestiários	1,0
I	Entrada de vestiários	0,4
J	Saida dos vestiários	0,2

TABELA 2. Resultado dos Valores de Contaminação de Superfícies do prédio (M-9) antes da descontaminação de superfícies

Pontos	Descrição	Atividade (Bq / cm^2)
1	Piso da entrada do prédio (M-9)	0,17
2	Piso (MC)	0,44
3	Bandejas metálicas para Urânio	2,66
4	Prensa compacta	4,6
5	Calhas metálicas	0,43
6	Piso (RE)	0,47
7	Piso em frente ao (RE)	0,18
8	Piso centro do prédio (M-9)	0,10
9	Piso próximo vestiários	0,08
10	Piso dos vestiários	0,08

TABELA 3. Resultados dos Valores de Radiação Externa no prédio (M-9) após a descontaminação de superfícies

Pontos	Descrição	Taxa de dose ($\mu\text{Sv} / \text{h}$)
A	Porta de entrada	0,6
B	(MC) materiais contaminados	0,4
C	(MC) materiais contaminados	0,5
D	(RE) rejeitos e efluentes	0,4
E	(RE) rejeitos e efluentes	0,3
F	Próximo a (MC)	0,4
G	Centro do prédio (M-9)	0,2
H	Próximo à vestiários	0,2

I	Entrada de vestiários	0.2
J	Saída dos vestiários	0.2

TABELA 4. Resultados dos Valores de Contaminação de Superfícies do prédio (M-9) após a descontaminação de superfícies

Pontos	Descrição	Atividade (Bq / cm ²)
1	Piso da entrada do prédio (M-9)	0.03
2	Piso (MC)	0.05
3	Bandejas metálicas para Urânio	0.08
4	Prensa compacta	0.12
5	Calhas metálicas	0.08
6	Piso (RE)	0.05
7	Piso em frente ao (RE)	0.03
8	Piso centro do prédio (M-9)	0.02
9	Piso próximo vestiários	0.02
10	Piso dos vestiários	0.02

MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Métodos. Esta etapa envolveu classificação, demarcação e sinalização de áreas restritas, além da monitoração e da segregação de rejeitos radioativos e materiais contaminados. Também foram definidos os procedimentos de descontaminação específicos para cada tipo de superfície, seguindo os requisitos de segurança física e radiológica estabelecidos anteriormente, no planejamento da operação e no treinamento dos operadores. Os métodos de descontaminação utilizados foram específicos para cada tipo de material. Em geral, foram aplicados métodos físicos, químicos e a combinação de ambos, seguindo-se um ciclo de descontaminação, e partindo-se de métodos brandos até métodos mais agressivos. Para remoção da contaminação transferível, foram aplicados métodos secos de sucção da contaminação particulada, como a utilização de aspiradores de pó com a adequação de filtros eficientes. Em seguida, foram utilizados métodos úmidos, empregando-se algodão ou panos umedecidos com soluções tensoativas (detergentes) que se comportam como agentes para remoção de óleos e gorduras. Somente quando esses métodos iniciais provassem ser ineficazes, devido às contaminações terem se fixado nas superfícies, foram aplicados, de forma controlada, métodos mais agressivos. Como exemplo, podemos citar a utilização de soluções químicas complexantes (ácido cítrico, oxálico e EDTA). Essas soluções se comportam como agentes para remoção de contaminação fixa.

EXPERIÊNCIA ADQUIRIDA

Com a experiência adquirida, foi possível adotar a operação de descontaminação de superfícies para a descontaminação, que está sendo realizada, atualmente, no prédio (M-8), da Usina de Urânio Metálico da Divisão de Processos Metalúrgicos do IPEN-CNEN/SP. As próximas etapas a serem seguidas deverão ser a desmontagem do sistema

operacional e a adoção de novas linhas de pesquisa, envolvendo material radioativo. A partir de estudos anteriores, o planejamento, inicialmente, adotado, possibilitou a elaboração de um procedimento básico de descontaminação, aplicável em instalações onde são manuseadas fontes de radiação ionizante, seguindo as normas nacionais e as recomendações internacionais. Essa experiência realçou a visão dos autores, pois a adoção de novas filosofias de radioproteção promovem melhorias na qualidade de vida dos trabalhadores pertencentes à área nuclear.

FONTE: E01_489.PDF (ipen.br). Acesso em: 4 fev. 2021.

RESUMO DO TÓPICO 3

Neste tópico, você aprendeu:

- A descontaminação de radiofármacos precisa ser realizada quando houver algum derramamento dentro da sala de preparo do radiofármacos, pelo motivo de ocorrerem respingos no momento da eluição do gerador de tecnécio-99m.
- A Norma CNEN 3.05 (2013) “Requisitos de Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear” cita a monitoração da taxa de dose e a contaminação de superfícies.
- O laboratório de radiofarmácia é o local onde são armazenadas as fontes de radiação. É o local onde ocorre a marcação dos fármacos com tecnécio-99m, sendo o local onde os profissionais que trabalham na área de Medicina Nuclear ficam mais expostos.
- A Norma CNEN 3.05 (2013) cita, no seu texto, que o laboratório de manipulação e armazenamento de fontes radioativas em uso (laboratório de radiofarmácia) deve possuir bancadas com superfícies impermeáveis, lisas, livres de rachaduras, e que sejam feitas de materiais que permitam a fácil descontaminação.
- Além dos requisitos solicitados pela norma competente, é necessário que o laboratório de radiofarmácia tenha monitores de área para avaliar as doses de exposição no ambiente. Esses monitores devem ficar em locais de fácil visualização e, se for notado que o nível de radiação sobe, o acionamento deve ser realizado imediatamente.
- O serviço de Medicina Nuclear necessita ter construção específica, de acordo com a Norma CNEN 3.05, que visa facilitar o processo de descontaminação se houver algum derramamento ou acidente com o material radioativo utilizado.
- Os pisos dos locais que manipulam radiofármacos, como a sala de administração, o laboratório de manipulação, a sala de pacientes injetados e a sala de exames e de repouso, precisam ter os cantos arredondados e ser impermeáveis, sem nenhuma porosidade na estrutura, ou seja, livres de ranhuras.
- As paredes devem ser construídas com a finalidade de descontaminação, precisam ser impermeáveis, sem porosidade na superfície. Ainda, a pintura deve ser lavável.
- As torneiras utilizadas dentro dos locais que manipulam ou administram os radiofármacos precisam ser do tipo que não seja necessário contato das mãos para o fechamento da água.
- As pias precisam ter cubas de 40 cm de profundidade e ser constituídas de material inox, por causa da fácil descontaminação.

- Como recomendado pela Norma 3.05, da CNEN, a exaustão deve estar presente na sala do laboratório de radiofarmácia, na sala de rejeitos radioativos e na sala de inalação pulmonar.
- O gerador de tecnécio-99m deve ser acondicionado em uma bancada, permitindo que uma tampa seja aberta para a realização do processo de eluição. Esse local de armazenamento dos geradores de tecnécio-99m faz com que não seja necessário remover o gerador de local, prevenindo derramamentos e descontaminações.
- A sala de rejeitos radioativos deve ter prateleiras de fácil descontaminação, pintura lavável e cantos arredondados.
- Os IOEs precisam ter um banheiro próprio com a sinalização de área controlada. Essa ação é importante para evitar que outros funcionários utilizem o banheiro dos indivíduos ocupacionalmente expostos e contaminem outros locais, fazendo com que áreas precisem de descontaminação.

AUTOATIVIDADE



1 Uma Norma da CNEN cita, no seu texto, que o laboratório de manipulação e armazenamento de fontes radioativas em uso (laboratório de radiofarmácia) deve possuir bancadas com superfícies impermeáveis, lisas, livres de rachaduras, e que sejam feitas de materiais que permitam a fácil descontaminação. Podemos dizer que essa norma é:

- a) () CNEN 3.05 "Requisitos de Proteção Radiológica para os Serviços de Medicina Nuclear".
- b) () CNEN 8.02 "Licenciamento de Depósitos dos Rejeitos de Níveis Baixo e Médio de Radiação".
- c) () CNEN 8.01 "Gerência de Rejeitos Radiativos de Baixo e Médio Nível de Radiação".
- d) () CNEN 6.06 "Seleção e Escolha de Locais para Depósitos de Rejeitos Radioativos".
- e) () CNEN 3.01 "Requisitos Básicos de Radioproteção".

2 Os pisos dos locais que manipulam radiofármacos, como sala de administração, laboratório de manipulação, sala de pacientes injetados e sala de exames e de repouso necessitam de adequações que favorecem a descontaminação. Podemos dizer que essas adequações são:

- I- Cantos arredondados.
- II- Serem impermeáveis.
- III- Sem porosidade na sua estrutura.
- IV- Impermeabilizados.
- V- Sem ranhuras.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) () Apenas a I está correta.
- b) () Apenas I e II estão corretas.
- c) () Apenas a III está correta.
- d) () Todas estão corretas.

3 Comente como as paredes precisam ser construídas para a finalidade de descontaminação.

4 Cite os requisitos que necessitam ter as pias para facilitar a descontaminação.

PROTEÇÃO DE PACIENTES E BARREIRAS DE PROTEÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A Resolução nº 38, do Ministério da Saúde (2008), define algumas informações importantes em relação à proteção do paciente, como o cadastro do paciente que faz exames ou tratamento terapêutico em Medicina Nuclear.

A Norma 3.05, da CNEN (2013), cita, no seu texto, procedimentos de proteção que necessitam ser realizados em pacientes injetados, ou seja, paciente que recebem a administração do radiofármaco.

A responsabilidade da proteção do paciente, dentro do setor de Medicina Nuclear, recai sobre o titular do serviço, responsável técnico, supervisor de radioproteção radiológica e do indivíduo ocupacionalmente exposto.

Além da responsabilidade citada no parágrafo anterior, a instalação do serviço de Medicina Nuclear necessita ter salas únicas para espera ou repouso e sanitários para os pacientes injetados.

Toda administração de radiofármacos no paciente necessita ser aferida pelo medidor de atividade. Essa medida de proteção faz com que o paciente não receba dose a mais do que a recomendada pelo médico nuclear.

Paciente grávida ou com suspeita de gravidez e criança precisam ter o procedimento justificado pelo médico nuclear, com o consentimento do familiar e responsável. O princípio de justificação é mencionado na Norma 3.01, da CNEN (2014), que relata que toda prática que utiliza a radiação ionizante deve ser justificada.

Nenhum paciente injetado pode ser liberado sem o consentimento do médico nuclear e do supervisor de proteção radiológica. A liberação só pode ocorrer depois que o valor da taxa de dose atinja o recomendado de 0,03 mSv/h, medido a dois metros do paciente injetado.

As barreiras de proteção, dentro do setor de Medicina Nuclear, vão desde paredes, blindagem das seringas, blindagens de chumbo para ajudar na redução das taxas de dose e biombos blindados em quartos de pacientes que estão fazendo terapia. Essa ação visa proteger os indivíduos ocupacionalmente expostos e os pacientes, fazendo a divisão dos leitos, caso haja outro paciente no mesmo quarto.

As doses de radiação dos pacientes e dos trabalhadores devem ser mantidas baixas ou razoavelmente exequíveis, de acordo com o princípio ALARA.

A adesão ao princípio ALARA pode reduzir a ocorrência de efeitos estocásticos (IRD, 2021).

2 PROTEÇÃO DE PACIENTES NO SERVIÇO DE MEDICINA NUCLEAR

A proteção de pacientes no serviço de Medicina Nuclear precisa levar em consideração as solicitações normativas que são designadas para o funcionamento do serviço, como foi citado no tópico anterior.

Os titulares e os empregadores do serviço de Medicina Nuclear têm a responsabilidade de prezar pela vida dos pacientes que são submetidos a exames ou a terapias que utilizam radionuclídeos.

Segundo a Norma NN CNEN 3.01 (2014), toda prática que utiliza radiação necessita ser justificada, ou seja, precisa trazer benefício para o paciente que é exposto ao radiofármaco, para compensar o detrimento causado pela radiação.

2.1 RESPONSABILIDADES DOS PROFISSIONAIS DO SERVIÇO DE MEDICINA NUCLEAR COM A PROTEÇÃO DO PACIENTE

Agora, veremos a responsabilidade da proteção do paciente que recai sobre o titular do serviço, responsável técnico, supervisor de radioproteção radiológica e indivíduo ocupacionalmente exposto.

2.1.1 Titular do serviço de Medicina Nuclear

A Norma NN CNEN 3.05 (2013) cita que o titular pelo serviço de Medicina Nuclear tem a responsabilidade de implantar instruções de proteção para os pacientes injetados e precisa garantir que as instruções de segurança sejam aplicadas pelo intermédio do supervisor de proteção radiológica.

É dever do titular deixar disponível, para fins de fiscalização, a carga anual de trabalho, relacionada ao número de pacientes injetados, ou seja, pacientes nos quais são administrados os radiofármacos.

O titular é o responsável, perante a CNEN, pela segurança e pela proteção dos pacientes injetados.

2.1.2 Supervisor de proteção radiológica

O supervisor de proteção radiológica, na Medicina Nuclear, precisa realizar e registrar a investigação e a implementação de ações corretivas em decorrência de qualquer falha associada à administração do radiofármaco, ou seja, paciente injetado errado e dose diferindo dos valores prescritos pelo médico nuclear. Esse profissional precisa ter a certificação, na área de Medicina Nuclear, disponibilizada pela CNEN. São realizadas provas para obtenção dessa certificação.

2.1.3 Responsável técnico pelo serviço de Medicina Nuclear

A responsabilidade do responsável técnico na proteção do paciente é assegurar que este, injetado, seja submetido à exposição só com a prescrição do médico nuclear. Se o paciente não tiver a prescrição do médico nuclear para o exame, não pode ser administrado com o radiofármaco.

É dever, do responsável técnico, garantir que o paciente injetado seja instruído sobre o procedimento que deve ser realizado no exame, além dos cuidados de proteção realizados com o paciente e o acompanhante.

Agora, veremos outras responsabilidades do responsável técnico, segundo a NN CNEN 3.05 (2013):

- As doses administradas nos pacientes injetados devem ser calculadas, considerando peso, superfície corporal exposta ou outros critérios definidos em procedimentos médicos devidamente justificados.
- Coordenar e orientar a execução do treinamento periódico dos Indivíduos Ocupacionalmente Expostos no que tange à proteção radiológica dos pacientes injetados.

NOTA

Para ser responsável técnico do serviço de Medicina Nuclear, é necessário ter graduação em Medicina e especialização em Medicina Nuclear.



2.1.4 Indivíduo Ocupacionalmente Exposto (IOE)

Este profissional tem papel fundamental no serviço de Medicina Nuclear. A sua responsabilidade, em relação à proteção do paciente, engloba registrar a atividade prescrita e a administrada do radiofármaco injetado; verificar, sempre antes da administração do radiofármaco no paciente, se corresponde com o prescrito; e conferir o nome do paciente.

3 INSTALAÇÕES VISANDO À SEGURANÇA DO PACIENTE

Todo paciente que chega para fazer exame ou terapia, dentro de um serviço de Medicina Nuclear, precisa de proteção, e, para que essa proteção seja realizada, algumas dependências são utilizadas:

- Sala de espera para pacientes injetados.
- Sanitário exclusivo para pacientes injetados.
- Sala exclusiva para exames cardiológicos com sanitário para pacientes injetados.
- Sala para administração de radiofármaco com emissão de pósitrons nos pacientes.
- Sala de repouso para pacientes injetados com radiofármacos que emitam pósitrons.

Agora, quando o serviço de Medicina Nuclear dispõe de equipamentos híbridos e o paciente que deve realizar o exame não precisa ser injetado, é necessário que esse paciente tenha a entrada diferente dos pacientes que são injetados, ou seja, é proibido que pacientes injetados fiquem circulando pelos corredores onde pacientes que não devem ser injetados circulem.

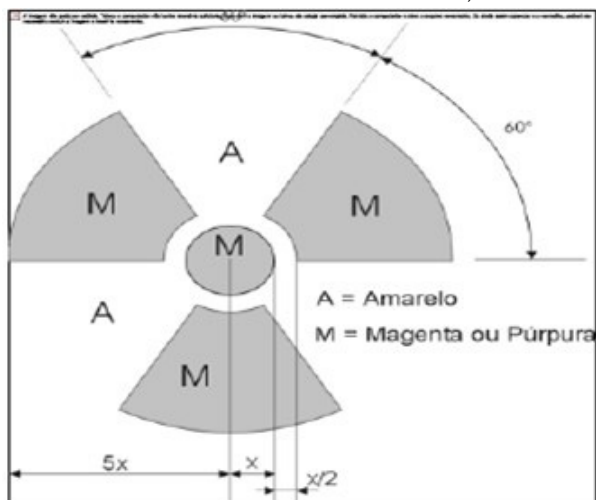
4 PROTEÇÃO DE PACIENTES NA TERAPIA

Todo paciente que for submetido à terapia deve ficar em quarto separado, principalmente, quando for realizada a terapia com Iodo-131. Medidas de proteção radiológica precisam estar ativas dentro do quarto da terapia. O uso de biombo de chumbo deve ser feito se existirem dois pacientes em terapia no mesmo quarto.

A liberação dos pacientes em terapia deve ser realizada pelo serviço de Medicina Nuclear, após atingir o percentual de radiação descrito para liberação do quarto de terapia, que compreende o valor da taxa de dose inferior a 0,03 mSv/h, medido a dois metros do paciente injetado. Essa liberação só pode ser feita com a autorização do médico nuclear e do supervisor de radioproteção.

O quarto deve estar sinalizado com o símbolo internacional de radiação ionizante, como mencionado na Norma NN CNEN 3.01 (2014). Observe:

FIGURA 9 – SÍMBOLO INTERNACIONAL DA RADIAÇÃO IONIZANTE

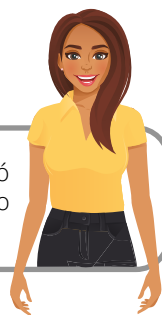


FONTE: CNEN (2014, p. 9)

É importante monitorar as contaminações do quarto, como roupas e lençol da cama, para liberação do quarto a outro paciente em terapia.

NOTA

A liberação do paciente que realizou a terapia no serviço de Medicina Nuclear só pode ser feita se não trazer riscos aos familiares e aos indivíduos que estarão pelo caminho que esse paciente percorrerá até chegar a seu domicílio.



5 BARREIRAS DE PROTEÇÃO

As barreiras de proteção que podem ser utilizadas no serviço de Medicina Nuclear, para a proteção dos pacientes e para a proteção dos IOEs ou de pessoas que frequentam os corredores do serviço, podem ser feitas através da blindagem das paredes da sala:

- de administração do radiofármaco;
- do equipamento;
- de repouso do paciente injetado;
- da manipulação do radiofármaco;
- de espera do paciente injetado;
- da inalação pulmonar;
- do decaimento dos rejeitos radioativos.

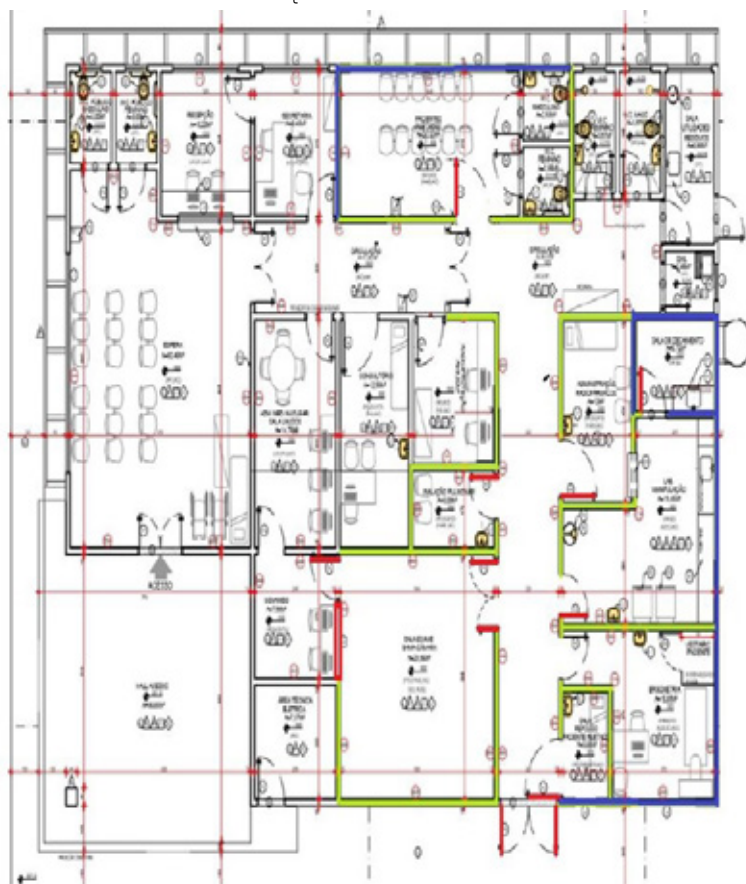
Segue um croqui de um serviço de Medicina Nuclear com a blindagem das paredes através de argamassa baritada.

Perceba o croqui de um serviço de Medicina Nuclear. Em azul, a parede é revestida com 5 cm de argamassa baritada, mas, em algumas salas, o revestimento é com 4 cm, e as portas são de 2mm de chumbo e todas com um visor pumbífero de 1,5x1,0 m.

Toda a blindagem nas paredes constitui as barreiras de proteção, que servem para preservar a vida de todos que estão presentes dentro do serviço de Medicina Nuclear, sejam familiares dos pacientes, curiosos, IOEs, enfermeiros, médicos, recepcionistas e, principalmente, pacientes.

Além das barreiras de proteção nas paredes, existem os equipamentos de proteção individual, que necessitam ser utilizados pelos profissionais que trabalham no serviço, com a proteção plumbífera das seringas, contendo os radiofármacos, além da blindagem da capela de preparação dos radiofármacos e de outros procedimentos de proteção.

FIGURA 10 – CROQUI COM BLINDAGEM DAS PAREDES



- Parede revestida com 5cm de argamassa baritada até 2,10m de altura
- Parede revestida com 4cm de argamassa baritada até 2,10m de altura
- Porta com 2mmPb
- ▭ Visor plumbífero de 1,5x1,0 m

FONTE: Secon Serviços de Radioproteção (2015, p. 15)

LEITURA COMPLEMENTAR



ANÁLISE DOSIMÉTRICA DE ACOMPANHANTES DE PACIENTES DE MEDICINA NUCLEAR INTERNADOS EM QUARTO TERAPÊUTICO

Jetro Pereira de Oliveira
Márcia Maria dos Santos Lopes
Luiz Antonio Ribeiro da Rosa
Léa Mirian Barbosa da Fonseca
Rossana Corbo

Este trabalho avaliou doses recebidas por acompanhantes que compartilharam o mesmo quarto terapêutico com pacientes tratados com câncer de tireoide, ingerindo iodo-131 (^{131}I). Comparou os resultados obtidos aos limites determinados pelas normas brasileiras de radioproteção. MATERIAIS E MÉTODOS: Avaliaram-se seis grupos de pessoas. Cada grupo foi formado por um acompanhante e um paciente, que compartilharam o mesmo quarto terapêutico. Realizaram-se, também, 23 outros experimentos, sendo que, nestes, um simulador foi usado em substituição à segunda pessoa no quarto terapêutico. As atividades de ^{131}I administradas aos pacientes foram de 3.700 MBq ou 5.550 MBq. Dosímetros termoluminescentes na forma de pó, fluoreto de lítio dopado com magnésio, titânio e sódio foram usados para a avaliação das doses. RESULTADOS: Os resultados mostraram que uma pessoa que compartilha o mesmo quarto terapêutico, durante dois dias, com um paciente tratado com 3.700 MBq ou 5.550 MBq de ^{131}I , seguindo as orientações de radioproteção fornecidas pela equipe médica, é exposta a uma dose média de $(0,51 \pm 0,02)$ mSv, para um nível de confiança de 99%. CONCLUSÃO: De acordo com as normas brasileiras, do ponto de vista da radioproteção, não há impedimento acompanhar um paciente de Medicina Nuclear durante esse tratamento.

INTRODUÇÃO

A radioiodoterapia se baseia no fato de que uma considerável porcentagem do tumor e/ou de metástases, proveniente de tumores diferenciados da tireoide, fixa ativamente o iodo-131 (^{131}I), permitindo, dessa forma, a destruição do tumor, ou a redução do volume tumoral, após receber altas doses de radiação. As maiores dificuldades estão na seleção dos pacientes, para que o tratamento seja eficaz, além do tipo de proteção radiológica a ser adotado.

Nos últimos dez anos, houve significativo desenvolvimento no campo do tratamento com radionuclídeos, mas é importante lembrar que a terapia com radionuclídeos, na forma de ^{131}I , tem sido usada desde 1955.

Um exemplo de procedimento terapêutico em Medicina Nuclear é o tratamento de tumores diferenciados da tireoide (papilífero e folicular). Pacientes, depois de serem tratados com a radioiodoterapia, apresentam grande índice de cura, mantendo-se livres da doença por mais de 30 anos. Mesmo o paciente com metástases a distância, pode manter-se em controle estável por muitos anos. Ocorre, porém, que o ^{131}I emite radiação gama de alta energia. Isso leva à exposição do meio ambiente, ao redor do paciente. Portanto, há a necessidade de se fazer o tratamento em regime de internação, em quarto especial, seguindo as normas de radioproteção da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). A CNEN é um órgão federal que tem, como objetivo, assegurar que as instalações que utilizam radiações ionizantes façam isso corretamente, dentro dos critérios e das normas de radioproteção. Isso vem a garantir que os níveis de radiação sejam tão baixos quanto razoavelmente exequíveis, gerando a minimização da exposição às radiações ionizantes da população como um todo.

O critério atual de isolamento de um paciente de Medicina Nuclear que tenha recebido dose terapêutica de ^{131}I acima de 1,11 GBq consiste na sua internação individual em quarto terapêutico. Caso seja necessário, é possível a internação de dois pacientes no mesmo quarto, mas, no caso, é obrigatório o uso de barreira protetora entre os leitos (biombo blindado com chumbo). O quarto terapêutico, devidamente sinalizado e com acesso controlado, deve possuir paredes e pisos construídos com materiais impermeáveis que permitam a descontaminação, cantos arredondados, sanitário privativo e biombo blindado com o leito.

O paciente pode ser liberado quando a atividade de ^{131}I nele presente for igual ou inferior a 1,11 GBq, o que equivale a uma taxa de exposição de cerca de 1,8 $\mu\text{C}/\text{kg}$, medida com monitor de área modelo MIR, série 7026, fabricado pelo Instituto de Engenharia Nuclear/CNEN, a uma distância de 1 m da fonte de ^{131}I . A legislação atual regulamenta que as doses devem ser restritas, de forma que seja improvável que acompanhantes recebam mais de 5 mSv durante o período de tratamento do paciente.

O hipotireoidismo e o isolamento necessários para o tratamento, na maioria das vezes, trazem problemas psicológicos importantes, que tornam o procedimento muito penoso para os pacientes. Estes, muitas vezes, não toleram mais de uma internação.

No caso de pacientes com dificuldades de locomoção, crianças ou pacientes com problemas psicológicos, estes são acompanhados por uma segunda pessoa, e ambos compartilham o quarto terapêutico. A pessoa, normalmente, pertence à família do paciente e, preferencialmente, não deve estar na idade fértil, ou não ter intenção de gerar filhos. O acompanhante e o paciente recebem orientações de radioproteção fornecidas pela equipe médica, por exemplo, aproximar-se do paciente somente quando necessário, evitando, assim, exposições desnecessárias à radiação ionizante do ^{131}I presente no organismo do paciente.

No caso de pacientes com câncer tireoidiano tratados com 5.550 MBq de ^{131}I , em média, a dose que uma pessoa recebe ao conviver com esse tipo de paciente por um período de 15 dias, após este receber alta hospitalar, é de 0,24 mSv. Essa nova rotina, do ponto de

vista psicológico, vem proporcionando grande benefício ao paciente e a todos os amigos e familiares, além de minimizar a exposição à radiação ionizante de toda a equipe médica e diminuir os custos financeiros do tratamento, pois o paciente não fica mais retido no hospital.

O objetivo deste trabalho é avaliar a dose recebida por um acompanhante de paciente em tratamento de câncer de tireoide com ^{131}I , durante o período de internação (dois dias), uma vez que essa pessoa fica no mesmo quarto terapêutico com o paciente, e comparar os resultados obtidos com os limites de dose fixados em normas de proteção radiológica nacionais. Neste trabalho, a dose foi avaliada com o uso de dosímetro termoluminescente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, não se teve a preocupação de avaliar alguma possível contaminação do acompanhante, por exemplo, via inalação de ^{131}I ou pelo contato entre esse radionuclídeo e a pele. Procurou-se, apenas, avaliar a dose recebida pelo acompanhante decorrente da exposição à radiação oriunda do paciente.

Dois experimentos foram montados para avaliar as doses recebidas pelos acompanhantes de pacientes de Medicina Nuclear. No primeiro experimento, os acompanhantes foram monitorados com dosímetro termoluminescente, e, no segundo experimento, utilizou-se um simulador de acrílico, no qual se colocou o mesmo tipo de dosímetro, sendo, o simulador, posicionado no quarto terapêutico, com o paciente. Optou-se por adotar o segundo porque, uma vez que é rara a internação de pacientes acompanhados, tal experimento possibilitou a obtenção de um maior número de medidas, melhorando a estatística dos resultados. Como se esperava que a dose recebida pelo acompanhante fosse baixa, usou-se um único dosímetro para a determinação da dose média, para uma determinada atividade de ^{131}I administrada. Duas das atividades de ^{131}I mais usadas no Brasil foram consideradas neste trabalho (3.700 MBq e 5.550 MBq). No período da investigação, não se teve a oportunidade de avaliar a dose em acompanhantes de pacientes que receberam atividade de 3.700 MBq. No entanto, todas as doses avaliadas, envolvendo essa atividade, foram obtidas com o uso do simulador. Seis acompanhantes de pacientes que receberam 5.550 MBq foram monitorados e a dose média obtida, nessa situação, é o quociente entre a dose total integrada, devido aos seis pacientes, e a quantidade de pacientes. Nos casos de medidas no simulador, 10 pacientes foram considerados para ambas as atividades. Portanto, os valores das doses médias obtidas para 3.700 MBq e 5.550 MBq são o quociente entre a dose total integrada e o número de pacientes. Em todas essas situações de medidas, foi colocado um biombo de chumbo entre os leitos do paciente e do acompanhante, ou simulador.

Todas as pessoas envolvidas no experimento foram orientadas em relação aos objetivos do trabalho e esclarecidas a respeito dos procedimentos realizados. Após essa orientação, os pacientes e os acompanhantes foram instruídos a assinar o consentimento livre e esclarecido. Não houve seleção de idade, sexo ou presença de outras doenças. Esse trabalho foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Instituição, onde o trabalho foi desenvolvido.

O simulador usado é feito de metacrilato de polimetila (acrílico), com paredes de 0,4 cm de espessura. Possui formato cilíndrico, com 8,0 cm de diâmetro e 13,0 cm de altura. O interior foi preenchido com água. Fixaram-se, com fita aderente, duas cápsulas de dosímetros termoluminescentes na parte externa da lateral. O simulador foi colocado sobre um leito a uma distância de 2,85 m do leito do paciente, permanecendo, no mesmo local, durante todo o período de internação (aproximadamente, 48 horas).

O material termoluminescente utilizado, em forma de pó, foi o fluoreto de lítio, dopado com magnésio, titânio e sódio (LiF: Mg,Ti,Na). Esse composto é produzido, conforme Philitech (França), sob o código DTL- 937. É um material enriquecido com lítio-7 (${}^7\text{Li}$). Considerando os objetivos deste trabalho, apresenta características físicas apropriadas, incluindo desvanecimento pequeno à temperatura-ambiente, de 5% ao ano. O tratamento térmico pré-irradiação utilizado na regeneração do material é de 450 °C durante três horas. O tratamento térmico pós-irradiação é realizado no próprio leitor termoluminescente, a uma temperatura de 125 °C, durante cinco segundos. Essa temperatura é inferior à de avaliação dos dosímetros termoluminescentes (440 °C). O forno utilizado para o tratamento térmico dos dosímetros é um ETT, fabricado pela Fimel (França). O pó termoluminescente, depois de irradiado, foi avaliado em uma leitora automática Fimel PCL3, que possui uma fotomultiplicadora RTC, modelo XP1122.

RESULTADOS

Ao se integrarem as doses medidas por um par de dosímetros termoluminescentes fixados em um simulador, após este ser exposto a 10 pacientes que receberam atividades de 3.700 MBq de ${}^{131}\text{I}$, por um período de dois dias de internação, foi possível determinar uma dose média de $(0,28 \pm 0,01)$ mSv. Ao se submeter esse mesmo simulador com outro par de dosímetros a outros 10 pacientes que receberam atividades de 5.550 MBq de ${}^{131}\text{I}$, por um período de 24 horas, esses dosímetros registraram dose integrada média de $(0,40 \pm 0,02)$ mSv. Ainda, ao fixar um mesmo par de dosímetros termoluminescentes na vestimenta de seis acompanhantes de pacientes que ingeriram 5.550 MBq de ${}^{131}\text{I}$, tendo acompanhantes e pacientes permanecido no mesmo quarto terapêutico por dois dias, os dosímetros registraram dose integrada média de $(0,51 \pm 0,02)$ mSv.

Tabela 1. Doses médias recebidas por acompanhantes de pacientes de medicina nuclear tratados com ${}^{131}\text{I}$

	Atividade em MBq	
	3.700	5.550
	Doses em mSv	
Simulador	$0,28 \pm 0,01$	$0,40 \pm 0,02$
Acompanhante	–	$0,51 \pm 0,02$

A dose máxima calculada, segundo as normas norte-americanas NRC-8.39 e OCFR35.75, para um determinado ponto a 2,85 m de uma fonte pontual de 5.550 MBq de ^{131}I , é de 0,42 mSv. Os três valores medidos por dosímetros termoluminescentes, fixados no simulador e situados a uma mesma distância de 2,85 m de pacientes que ingeriram a mesma atividade de ^{131}I (5.550 MBq), foram de $(1,24 \pm 0,09)$ mSv, $(0,98 \pm 0,07)$ mSv e $(0,99 \pm 0,07)$ mSv, que fornecem valor médio de $(1,07 \pm 0,13)$ mSv.

FONTE: scielo.br. Acesso em: 6 abr. 2021.

RESUMO DO TÓPICO 4

Neste tópico, você aprendeu:

- A Resolução nº 38, do Ministério da Saúde (2008), define algumas informações importantes em relação à proteção do paciente, como o cadastro do paciente que faz exames ou tratamentos terapêuticos em Medicina Nuclear.
- A Norma 3.05, da CNEN, cita, no seu texto, procedimentos de proteção que necessitam ser realizados em pacientes injetados, ou seja, pacientes que recebem a administração do radiofármaco.
- Toda administração de radiofármacos no paciente necessita ser aferida pelo medidor de atividade. Essa medida de proteção faz com que o paciente não receba dose a mais do que a recomendada pelo médico nuclear.
- Paciente grávida ou com suspeita de gravidez e criança precisam ter o procedimento justificado pelo médico nuclear, com o consentimento de um familiar e responsável. O princípio de justificação é mencionado na Norma 3.01, da CNEN, que relata que toda prática que utiliza a radiação ionizante deve ser justificada.
- Nenhum paciente injetado pode ser liberado sem o consentimento do médico nuclear e do supervisor de proteção radiológica. A liberação só pode ocorrer depois que o valor da taxa de dose atinja o recomendado, que é 0,03 mSv/h, valor medido a dois metros do paciente injetado.
- As doses de radiação dos pacientes e dos trabalhadores devem ser mantidas tão baixas quanto razoavelmente exequíveis, de acordo com o princípio ALARA. A adesão ao princípio ALARA pode reduzir a ocorrência de efeitos estocásticos.
- Segundo a Norma NN CNEN 3.01, toda prática que utiliza radiação necessita ser justificada, ou seja, precisa trazer benefício para o paciente que é exposto ao radiofármaco, para compensar o detrimento causado pela radiação.
- O titular do serviço de Medicina Nuclear tem a responsabilidade de implantar instruções de proteção para os pacientes injetados, e precisa garantir que as instruções de segurança sejam aplicadas pelo intermédio do supervisor de proteção radiológica.
- O supervisor de proteção radiológica, na Medicina Nuclear, precisa realizar e registrar a investigação e a implementação de ações corretivas em decorrência de qualquer falha associada a uma administração do radiofármaco, ou seja, paciente injetado errado e dose diferindo dos valores prescritos pelo médico nuclear.

- A responsabilidade do responsável técnico na proteção do paciente é assegurar que o paciente injetado seja submetido à exposição só com a prescrição do médico nuclear. Se o paciente não tiver a prescrição do médico nuclear para o exame, não pode ser administrado com o radiofármaco.
- O IOE é um profissional que tem o papel fundamental no serviço de Medicina Nuclear. A sua responsabilidade, em relação a toda a proteção do paciente, engloba registrar a atividade prescrita e a administrada do radiofármaco injetado; verificar, sempre antes da administração do radiofármaco no paciente, se o radiofármaco corresponde com o prescrito; e conferir o nome do paciente.
- Quando o serviço de Medicina Nuclear dispõe de equipamentos híbridos e o paciente que deve realizar o exame não precisa ser injetado, é necessário que esse paciente tenha a entrada diferente dos pacientes que são injetados, ou seja, é proibido que pacientes injetados estejam circulando pelos corredores onde pacientes que não são injetados circulem.
- Todo paciente que for submetido a uma terapia deve ficar em quarto separado, principalmente, quando for realizada a terapia com Iodo-131. Medidas de proteção radiológica precisam estar ativas dentro do quarto da terapia, e o uso do biombo de chumbo deve ser feito se existirem dois pacientes em terapia no mesmo quarto.
- A liberação dos pacientes em terapia deve ser realizada pelo serviço de Medicina Nuclear após ele atingir o percentual de radiação descrito para liberação do quarto de terapia, que compreende o valor da taxa de dose inferior a 0,03 mSv/h, medido a dois metros do paciente injetado. Essa liberação só pode ser realizada com a autorização do médico nuclear e do supervisor de radioproteção.
- As barreiras de proteção que podem ser utilizadas no serviço de Medicina Nuclear para a proteção dos pacientes, dos IOEs ou de pessoas que frequentam os corredores do serviço podem ser realizadas através da blindagem das paredes da sala.
- Além das barreiras de proteção nas paredes, existem os equipamentos de proteção individual, que necessitam ser utilizados pelos profissionais que trabalham no serviço. Ainda, a proteção plumbífera das seringas que contenham os radiofármacos, a blindagem da capela de preparação dos radiofármacos e outros procedimentos de proteção.

AUTOATIVIDADE



1 Uma Resolução do Ministério da Saúde define algumas informações importantes em relação à proteção do paciente, como o cadastro do paciente que faz exames ou tratamentos terapêuticos na Medicina Nuclear. Podemos dizer que essa Resolução é:

- a) Resolução n° 38, de 2008.
- b) Resolução n° 39, de 2008.
- c) Resolução n° 37, de 2009.
- d) Resolução n° 35, de 2006.
- e) Resolução n° 34, de 2008.

2 Nenhum paciente injetado pode ser liberado sem o consentimento do médico nuclear e do supervisor de proteção radiológica. A liberação só pode ocorrer depois que o valor da taxa de dose atinja o recomendado. Podemos dizer que o valor de dose recomendado é:

- I- 0,03 mSv/h.
- II- 0,06 mSv/h.
- III- 0,08 mSv/h.
- IV- 0,01 mSv/h.
- V- 0,02 mSv/h.

Agora, assinale a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a I está correta.
- b) Apenas I e II estão corretas.
- c) Apenas a III está correta.
- d) Todas estão corretas.

3 Comente acerca da responsabilidade do responsável técnico do serviço de Medicina Nuclear.

4 Cite as salas que precisam ter barreiras de proteção na Medicina Nuclear.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Resolução nº 38, de 4 de Junho de 2008. **Dispõe sobre a instalação e o funcionamento de serviços de Medicina Nuclear "in vivo"**. Disponível em: saude.gov.br. Acesso em: 3 abr. 2021.

CNEN. **Norma CNEN NN 8.01 Gerência de Rejeitos Radioativos de Baixo e Médio Níveis de Radiação**. 2020. Disponível em: cnen.gov.br. Acesso em: 24 fev. 2021.

CNEN. **Norma CNEN NN 3.01 Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica**. 2014. Disponível em: CNEN-NN-3. Acesso em: 9 abr. 2021.

CNEN. **Norma CNEN NN 3.05 Requisitos de Segurança e Proteção Radiológica para Serviços de Medicina Nuclear**. 2013. Disponível em: cnen.gov.br. Acesso em: 24 fev. 2021.

IRD. **Instituto de Radioproteção e Dosimetria. Radioproteção dos trabalhadores em Medicina Nuclear**. 2021. Disponível em: ird.gov.br. Acesso em: 6 abr. 2021.