

“Radioproteção em Serviços de Saúde”

Ana Cecilia Pedrosa de Azevedo

física, D.Sc.

FIOCRUZ

Escola Nacional de Saúde Pública-CESTEH

e

Programa de Radioproteção e Dosimetria

Coordenação de Fiscalização Sanitária

Secretaria de Estado de Saúde do Rio de Janeiro

acpa@ensp.fiocruz.br

Sumário

Introdução

- 1) Fontes de Radiações Ionizantes: naturais e artificiais**
- 2) Histórico**
- 3) Tipos de Radiação e Seus Efeitos**
- 4) Interação da Radiação com as Células**
- 5) Tipos de Exposição**
- 6) Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes: Efeitos Estocásticos e Determinísticos**
- 7) Propriedades dos Sistemas Biológicos**
- 8) Efeitos da Exposição Pré-Natal**
- 9) Sistema de Proteção Radiológica**
- 10) Prática versus Intervenção**
- 11) Classificação das Exposições**
- 12) Frequência e Tipos de Exposições**
- 13) Irradiação versus Contaminação**
- 14) Classificação de Áreas**
- 15) Avaliação de Doses Individuais**
- 16) Níveis de Referência**
- 17) Limites de doses anuais**
- 18) Riscos Relativos**
- 19) Raios X: Propriedades, Tubo de Raios X**
- 20) Formação, Processamento e Registro da Imagem Radiográfica**
- 21) Métodos Radiográficos Especiais**
- 22) Garantia de Qualidade em Radiodiagnóstico**
- 23) Valores típicos de Doses em Diagnóstico**
- 24) Acidentes e Situações de Emergência**
- 25) Aplicações das Radiações Ionizantes em Medicina e Outras Áreas**
- 26) Medicina Nuclear**

27) Radioterapia

28) Grandezas e Unidades

29) Leitura Recomendada

Introdução

No setor saúde, onde a radiação ionizante encontra o seu maior emprego e como consequência, a maior exposição em termos de dose coletiva, é também onde mais são realizadas pesquisas no sentido de se produzir o maior benefício com o menor risco possível.

Apesar dos esforços de alguns órgãos governamentais em difundir conhecimentos voltados para as atividades de Proteção Radiológica (destaca-se aí o papel desempenhado, pela Comissão Nacional de Energia Nuclear - CENEN, através do Instituto de Radioproteção e Dosimetria - IRD) é ainda, de pouco domínio, mesmo entre os profissionais da área, o conhecimento a respeito dos efeitos maléficos produzidos por exposições que ultrapassam os limites permitidos.

Segundo dados do IRD, 80% dos trabalhadores que lidam diretamente com fontes emissoras de radiação ionizante pertencem ao setor saúde. Esse dado, em última análise, ressalta o compromisso e a responsabilidade que as Vigilâncias Sanitárias, das três esferas de governo, devem assumir perante a sociedade brasileira. Um dos papéis importantes que deve ser vinculado ao dia a dia dos inspetores das vigilâncias sanitárias, é a de orientar o usuário de materiais e fontes radioativas a desenvolver uma cultura baseada nos princípios da radioproteção e na prevenção de acidentes iminentes e/ou potenciais. O conhecimento dos equipamentos e as suas aplicações, dos processos de trabalho, e os insumos utilizados, são ferramentas indispensáveis na identificação dos riscos das instalações radioativas.

Outro aspecto que vem merecendo toda a atenção das autoridades sanitárias, é o crescente número de instalações radiológicas que têm se instalado, principalmente, nos grandes urbanos e que nem sempre absorvem profissionais com a qualificação desejada para o desempenho de suas funções. Há de se ressaltar, a necessidade de uma formação adequada por parte dos profissionais que atuem na área, o que sem dúvida contribuirá para uma melhoria da qualidade desse tipo de prestação de serviço à população.

1) Fontes de Radiações Ionizantes

Radiações ionizantes, por definição, são todas aquelas com energia superior a 12,4 eV e que são capazes de ionizar átomos.

Durante toda a vida, os seres humanos estão expostos diariamente aos efeitos das radiações ionizantes. Estas radiações podem ser de origem natural ou artificial. As fontes naturais, representam cerca de 70% da exposição, sendo o restante, devido à fontes artificiais. A figura 1 exemplifica esta distribuição.

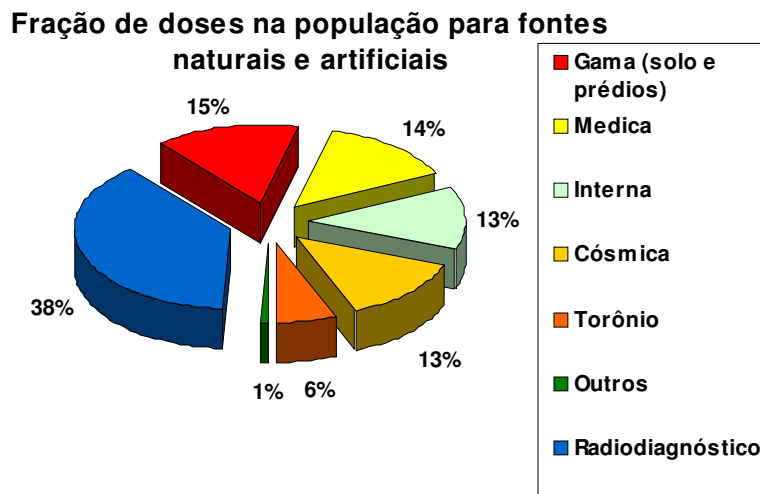


Figura 1

Quanto à proteção radiológica, pouco podemos fazer para reduzir os efeitos das radiações de origem natural. No entanto, no que diz respeito às fontes artificiais, todo esforço deve ser direcionado a fim de controlar seus efeitos nocivos. É neste aspecto, que a proteção radiológica pode ter um papel importante.

Fontes Naturais

Na categoria de fontes naturais encontram-se os produtos de decaimento do urânio e tório, que são o radônio e o torônio. Estes elementos são encontrados em rochas, solos, sedimentos e minérios que contém concentrações significativas destes elementos e que com o decaimento radioativo transformam-se em radionuclídeos pertencentes à estas famílias radioativas. São gasosos e depositam-se nas partes mais baixas dos ambientes devido a seu alto peso atômico. Representam cerca de 80 % da dose total recebida pelo homem devido à radiação natural.

Outra fonte de origem natural, é a radiação cósmica, proveniente do espaço sideral, como resultante de explosões solares e estelares. Grande parte dela é freada pela atmosfera, mas mesmo assim, uma porcentagem importante atinge os seres humanos. Recentemente, com o aumento do buraco na camada de ozônio da atmosfera, o percentual devido a estas radiações tem aumentado substancialmente.

A radiação natural tem as suas origens tanto nas fontes externas (as radiações cósmicas), como nas radiações provenientes de elementos radioativos espalhados na crosta terrestre. Na natureza podem ser encontrados aproximadamente 340 núclídeos, dos quais 70 são radioativos.

Uma vez dispersos no meio ambiente, os radionuclídeos podem ser incorporados pelo homem através da inalação de partículas em suspensão, ou então através da cadeia alimentar, pela ingestão de alimentos que concentram esses materiais radioativos. Essas são as duas vias principais de incorporação. A dispersão do material radioativo no meio ambiente ocorre sob influência de fatores físicos, químicos e biológicos, sendo que, em geral, os materiais sólidos apresentam maiores concentrações em relação às concentrações observadas no ar e na água. Assim sendo, o sedimento e o solo são, freqüentemente, os principais reservatórios de fontes poluentes radioativas. Em decorrência disso, o uso do solo, em áreas de alta concentração de materiais radioativos, para fins agrícolas e agropecuários, contribui para a dispersão dos radionuclídeos, através dos produtos produzidos nestas áreas.

Fontes Artificiais

Na figura 2 exemplificamos as principais fontes das radiações de origem artificial.

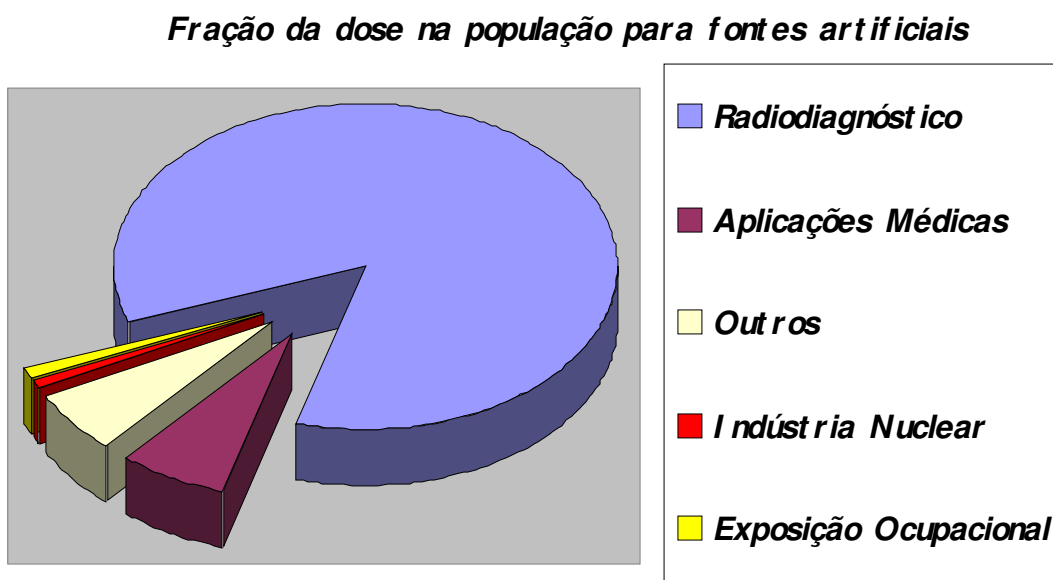


Figura 2

Pode-se observar que a maior contribuição deve-se às irradiações médicas e, dentro desta categoria, o radiodiagnóstico é o que detém a maior porcentagem. Devido à esta constatação, todo esforço deve ser direcionado no sentido de controlar e reduzir estes valores, o que pode ser atingido através da aplicação efetiva dos preceitos de proteção radiológica.

As fontes artificiais, são constituídas de aparelhos elétricos e os não-elétricos.

- Aparelhos elétricos: obviamente, utilizam eletricidade como fonte de energia para acelerar partículas e gerar radiação ionizante e, só emitem radiação, no momento em que são energizados. Dentre os equipamentos elétricos mais utilizados, encontram-se os tubos de raios X que produzem radiação quando elétrons energéticos emitidos por um filamento aquecido chocam-se com o alvo. Outra categoria que utiliza eletricidade, são os aceleradores de partículas largamente utilizados em radioterapia. Também necessitam ser energizados para produzir radiação ionizante.
- Aparelhos não-elétricos: por serem fontes vivas, devem ter cuidados adicionais no seu manuseio, pelo fato de emitirem radiação continuamente. Nesta categoria, encontram-se os irradiadores com radioisótopos largamente utilizados na indústria e na ciência. Dentre suas principais aplicações encontram-se a preservação de alimentos, o retardamento do amadurecimento de frutas, e o controle de insetos através da esterilização de machos. Fontes artificiais, também encontram aplicação em geologia, por exemplo, no estudo da dinâmica de lagos e reservas. Na indústria, a produção de energia nuclear nas usinas atômicas também encontra-se bem difundida. Em medicina, o uso das radiações ionizantes tem inúmeras aplicações tanto no diagnóstico quanto na terapia. As grandes áreas de aplicação são: medicina nuclear, radioterapia e radiodiagnóstico. Em radioterapia, a bomba de ^{60}Co , as fontes de radiação γ para braquiterapia e os aplicadores oftalmológicos e dermatológicos com emissores β encontram-se dentre os mais utilizados.

2) Histórico

No final do século passado, com a descoberta da radioatividade e dos raios X, houve um uso indiscriminado das radiações ionizantes. Uma série de fatos chamou a atenção dos cientistas de que havia necessidade de estudos mais metódicos dos efeitos biológicos destas radiações nos seres humanos. Observações iniciais como danos na pele, queda de cabelos em pacientes irradiados e efeitos nos descendentes após a irradiação do tecido germinativo de plantas e animais, foram constatados.

No entanto, os benefícios advindos do uso das radiações ionizantes são incontáveis, sendo as principais a cura de tumores através da terapia, e a detecção precoce de doenças através do diagnóstico.

3) Tipos de radiação e seus efeitos

Os principais tipos de radiação usados em medicina, são citados a seguir. Seu poder de penetração e a blindagem típica associada variam com o tipo de radiação e sua energia.

- *Partícula α : não consegue penetrar nem 0,1 mm na pele, no entanto, sua inalação ou ingestão podem ser muito danosas.*

Blindagem típica : folha de papel

- *Radiação β : seus efeitos são superficiais.*

Blindagem típica : acrílico

- *Radiação γ e X : seus efeitos ocorrem de maneira mais distribuída devido ao seu grande poder de penetração.*

Blindagem típica : chumbo

- *Neutrons: têm alto poder de penetração.*

Blindagem típica : parafina.

4) Interação da radiação com as células

No processo de interação da radiação com a matéria ocorre transferência de energia, que pode provocar ionização e excitação dos átomos e moléculas provocando modificação (ao menos temporária) na estrutura das moléculas. O dano mais importante é o que ocorre no DNA.

Os efeitos físico-químicos acontecem instantaneamente, entre 10^{-13} e 10^{-10} segundos e nada podemos fazer para controlá-los.

Os efeitos biológicos acontecem em intervalos de tempo que vão de minutos a anos. Consistem na resposta natural do organismo a um agente agressor e não constituem necessariamente, em doença.

$\mathcal{E}x$: redução de leucócitos.

Os efeitos orgânicos são as doenças. Representam a incapacidade de recuperação do organismo devido à frequência ou quantidade dos efeitos biológicos. *$\mathcal{E}x$: catarata, câncer, leucemia.*

5) Tipos de Exposição e seus efeitos

A exposição externa é resultante de fontes externas ao corpo, proveniente dos raios X ou fontes

radioativas. A exposição interna, resulta da entrada de material radioativo no organismo por inalação, ingestão, ferimentos ou absorção pela pele. O tempo de manifestação dos efeitos causados por estas exposições pode ser tardio, os quais manifestam-se após 60 dias, ou imediatos, que ocorrem num período de poucas horas até 60 dias.

Quanto ao nível de dano, os efeitos podem ser somáticos, que acontecem na própria pessoa irradiada ou hereditários, os quais se manifestam na prole do indivíduo como resultado de danos causados nas células dos órgãos reprodutores.

6) Efeitos Biológicos das Radiações Ionizantes

Os efeitos biológicos das radiações ionizantes podem ser estocásticos ou determinísticos. A principal diferença entre eles é que os efeitos estocásticos causam a transformação celular enquanto que os determinísticos causam a morte celular.

Efeitos Estocásticos

Os efeitos estocásticos causam uma alteração aleatória no DNA de uma única célula que no entanto, continua a reproduzir-se. Levam à transformação celular. Os efeitos hereditários são estocásticos. Não apresentam limiar de dose. O dano pode ser causado por uma dose mínima de radiação. O aumento da dose somente aumenta a probabilidade e não a severidade do dano. A severidade é determinada pelo tipo e localização do tumor ou pela anomalia resultante. No entanto, o organismo apresenta mecanismos de defesa muito eficientes. A maioria das transformações neoplásicas não evolui para câncer. Quando este mecanismo falha, após um longo período de latência, o câncer então, aparece. A leucemia ~ 5-7 anos e os tumores sólidos ~ 20 anos. Os efeitos são cumulativos: quanto maior a dose, maior a probabilidade de ocorrência. Quando o dano ocorre em célula germinativa, efeitos hereditários podem ocorrer.

Efeitos Determinísticos

Os efeitos determinísticos levam à morte celular. Existe uma relação previsível entre a dose e a dimensão do dano esperado, sendo que estes só aparecem a partir de uma determinada dose. A probabilidade de ocorrência e a severidade do dano estão diretamente relacionadas com o aumento da dose. As alterações são somáticas. Quando a destruição celular não pode ser compensada, efeitos clínicos podem aparecer, se a dose estiver acima do limiar. Por ex. 3-5 Gy eritema, 20 Gy necrose.

Indivíduos diferentes apresentam sensibilidade diferente e portanto, limiares diferentes. Exemplos de efeitos determinísticos são: leucopenia, náuseas, anemia, catarata, esterilidade, hemorragia, etc...

Tabela ilustrativa das doses x danos x tempo de sobrevivência

Dose absorvida de corpo inteiro (Gy)	Principal dano que contribui para a morte	Tempo de vida após a exposição (dias)
3-5	Danos na medula óssea	30-60
5-15	Danos gastro-intestinais e pulmonares	10-20
> 15	Danos no SNC	1-5

7) Propriedades dos Sistemas Biológicos

Apesar de todos estes efeitos, o corpo humano apresenta o mecanismo da reversibilidade que é responsável pelo reparo das células e é muito eficiente. Mesmo danos mais profundos são, em geral, capazes de ser reparados ou compensados.

A transmissibilidade é uma propriedade que não se aplica aos sistemas biológicos, pois os danos biológico não se transmitem. O que pode ser transmitido é o efeito hereditário em células reprodutivas danificadas. Existem fatores de influência os quais são decisivos. Pessoas que receberam a mesma dose podem não apresentar o mesmo dano. O efeito biológico é influenciado pela idade, sexo e estado físico.

8) Efeitos da Exposição Pré-Natal

Os efeitos da exposição pré-natal, são altamente dependentes do período de gestação. Alguns exemplos são: entre 0-3 semanas, o efeito mais importante é a falha de fixação do embrião e sua consequente morte. De 3 semanas em diante, pode apresentar má formação no órgão que estiver se desenvolvendo na época da exposição. Existem também efeitos de aumento na probabilidade de ocorrência de câncer no recém-nascido e redução do QI. Estudos advindos dos acidentes nucleares de Hiroshima e Nagasaki demonstraram que se a exposição ocorrer entre 8-15 semanas há uma redução de 30 pontos de QI/Sv. Se a exposição for no período entre 16-25 semanas, esta redução é menor que 30 pontos de QI/Sv. Pode ainda ocorrer retardo mental severo. Exposição durante qualquer período da gravidez, tem uma chance de 1/50.000 de causar câncer infantil.

9) Sistema de Proteção Radiológica

O objetivo primário da proteção radiológica é fornecer um padrão apropriado de proteção para o homem, sem limitar os benefícios criados pela aplicação das radiações ionizantes. A proteção radiológica baseia-se em princípios fundamentais e que devem ser sempre observados.

- Justificação : o benefício tem que ser tal que compense o detrimento, que é definido como sendo a relação entre a probabilidade de ocorrência e grau de gravidade do efeito.
- Otimização: o número de pessoas expostas, as doses individuais e a probabilidade de ocorrência de efeitos nocivos devem ser tão baixos quanto razoavelmente exequíveis. (princípio ALARA = **As Low As Reasonably Achievable**).
- Limitação de Dose: a dose individual de trabalhadores e indivíduos do público não deve exceder os limites de dose recomendados excluindo-se as exposições médicas de pacientes.
- Prevenção de acidentes : todo esforço deve ser direcionado no sentido de estabelecer medidas rígidas para a prevenção de acidentes.

O Sistema de Proteção Radiológica consiste em evitar os efeitos determinísticos, uma vez que existe um limiar de dose, manter as doses abaixo do limiar relevante e prevenir os efeitos estocásticos fazendo uso de todos os recursos disponíveis de proteção radiológica.

Para efeito de segurança em proteção radiológica, considera-se que os efeitos biológicos produzidos pelas radiações ionizantes sejam CUMULATIVOS.

Para a proteção radiológica de exposições externas considera-se:

- Distância ($1/r^2$). Quanto mais longe da fonte, melhor.
- Tempo. Quanto menos tempo perto da fonte, melhor.
- Blindagem. Quanto mais eficiente for a blindagem, melhor.

10) Prática versus Intervenção

- Prática : qualquer atividade humana que possa resultar em exposição à radiação.

- Intervenção : qualquer atividade humana que possa reduzir a exposição total.

11) Classificação das Exposições

As exposições dos seres humanos à radiação classificam-se em:

- Exposição Médica : de pessoa como parte de um tratamento ou diagnóstico, de indivíduos ajudando a conter ou amparar um paciente ou de voluntários participantes de pesquisa científica. Não há limite de dose, esta é determinada pela necessidade médica, no entanto recomenda-se o uso de níveis de referência.
- Exposição Ocupacional : é aquela ocorrida no ambiente de trabalho.
- Exposição do Público : são todas as outras.

12) Frequência e Tipos de Exposições

A frequência e a intensidade das exposições podem ser bem variadas e são exemplificadas abaixo:

- Exposição única : radiografia convencional
- Exposição fracionada : radioterapia (a exposição total necessária para a destruição da neoplasia é fracionada em 10 ou mais sessões)
- Exposição periódica : originada da rotina de trabalho com materiais radioativos
- Exposição de corpo inteiro : irradiadores de alimentos, acidentes nucleares
- Exposição parcial : acidentes, pessoa que manipula radionuclídeos (exposição das mãos)
- Exposição colimada : radioterapia (o feixe é colimado à região do tumor)
- Feixe Intenso : - esterilização e conservação de alimentos
- radioterapia (3000 cGy; aproximadamente 2Gy/aplicação)

- Feixe Médio : radiodiagnóstico (alguns mGy/incidência)
- Feixe Fraco : radioatividade natural (1 mGy/ano)

13) Irradiação versus Contaminação

A irradiação é originada por algum tipo de procedimento com raios X (em radiodiagnóstico) ou com feixes de elétrons ou raios γ em radioterapia. Neste caso, o paciente não torna-se "radioativo" e portanto não há nenhum perigo de "contaminar" outras pessoas ou o meio ambiente. Irradiações severas podem acontecer no caso de explosões de usinas nucleares ou bombas atômicas. Nestas situações, o meio ambiente fica altamente radioativo, mas não as pessoas.

A contaminação é o fato de estar em contato com fontes não seladas. Este é, por exemplo o caso dos pacientes que fazem uso de procedimentos de Medicina Nuclear. Neste caso, os radiofármacos são injetados no paciente ficando o mesmo "radioativo". Dependendo da dose a que foi submetido, poderá ter que ser isolado a fim de não contaminar outras pessoas ou o meio ambiente. Nesta situação, a fonte radioativa (radiofármaco) incorporou-se ao corpo do paciente que continua emitindo radiação. Os seres humanos podem ainda contaminar-se em acidentes como foi o caso de Goiânia em 1987. Neste acidente o Cs 137 foi ingerido e passado sobre a pele de pessoas que ficaram contaminadas.

14) Classificação de Áreas

Toda instalação radioativa está sujeita a regras especiais de proteção radiológica e é obrigada a delimitar suas áreas. Classifica-se como área livre toda aquela isenta de regras especiais de segurança. Nesta áreas, os níveis de radiação são necessariamente menores que 1 mSv/mês. Classifica-se como área restrita toda aquela que deva ter seus acessos controlados, por apresentar níveis de radiação maiores que 1 mSv/mês. As áreas restritas são subdivididas em área supervisionada, quando os níveis de radiação estão entre 1 mSv/mês e 3 mSv/mês e área controlada se os níveis de radiação forem maiores que 3 mSv/mês.

15) Avaliação de Doses Individuais

Para avaliar as doses de radiação num determinado ambiente são utilizados monitores de área. Estes ficam em locais de fácil acesso e visualização e são acionados sempre que os níveis de

radiação ultrapassam os limites de segurança.

Para a monitoração individual, são encontrados vários tipos de equipamentos: filme dosimétrico, TLD (dosímetro termo-luminescente), caneta dosimétrica e outros. O uso do dosímetro é geralmente obrigatório, a não ser que a monitoração de área demonstre que não há risco. Um dos tipos de dosímetro individual mais utilizado é o dosímetro de tórax. Este deve sempre ser posicionado na parte superior do tórax. É um dosímetro que registra a dose de corpo inteiro. No caso do uso de avental de chumbo, o dosímetro deve ser posicionado *SOBRE* o avental. Neste caso, deve-se avisar ao serviço de proteção radiológica que informará à empresa responsável pela monitoração pessoal, que então aplicará o fator de correção adequado (1/10), para o cálculo da dose efetiva.

- Dosímetro de extremidade : pulseira, anel. Geralmente utilizado por profissionais que lidam com fontes não seladas ou com equipamentos de fluoroscopia.

16) Níveis de Referência

- Nível de Registro : (0,2 mSv), (aplicado no programa de monitoração individual).
- Nível de Investigação : (1,2 mSv) valor acima do qual justifica-se investigação. Relativo a um só evento.
- Nível de Intervenção : (4,0 mSv) interfere com a cadeia normal de responsabilidades. Interdição do serviço, afastamento do profissional para investigação.

17) Limites de Doses Anuais

Trabalhador

Público

- **DOSE EFETIVA**

20 mSv/ano *

1 mSv/ano **

*Valor médio por um período de 5 anos, não ultrapassando 50 mSv em um único ano.

**Em casos especiais, pode ser usado um limite maior desde que o valor médio não ultrapasse 1 mSv/ano.

- **DOSE EQUIVALENTE**

Cristalino

150 mSv/ano

15 mSv/ano

Pele

500 mSv/ano

50 mSv/ano

Extremidades

500 mSv/ano

18) Riscos Relativos

Chances de morrer em consequência de atividades comuns em nossa sociedade (1 em 1 milhão)

- Fumar 1,4 cigarros (câncer de pulmão)
- Passar 2 dias em Nova York (poluição do ar)
- Dirigir 65 km. em um carro (acidente)
- Voar 2500 milhas de avião (acidente)

- *Praticar 6 minutos de canoagem*
- *Receber 0,1 mSv de radiação (câncer)*

Fatores de risco de câncer Efeito relativo (em relação à radiação)

Radiação ionizante

1

Álcool

1,5

Comportamento sexual

3,5

Infecções

5,0

Fumo

15,0

Dieta

18,0

19) Raios X

Os raios X são produzidos quando elétrons em alta velocidade, provenientes do filamento aquecido, chocam-se com o alvo (anodo) produzindo radiação. O feixe de raios X pode ser considerado como um "chuveiro" de ftons distribuídos de modo aleatório. Os raios X "nascem" da interação de elétrons altamente energéticos com a matéria e "morrem" ao transferir sua energia aos elétrons do alvo.

Os raios X e os raios γ são formas idênticas de radiação, no entanto, sua origem é diferente. Os raios γ resultam do decaimento radioativo enquanto que os raios X são produzidos por eletrons altamente energéticos chocando-se num material.

Os raios X possuem propriedades que os tornam extremamente úteis.

- *Enegrecem filme fotográfico*

- São radiação eletromagnética, portanto não são defletidos por campos elétricos ou magnéticos pois não tem carga.
- Tornam-se "duros" (mais penetrantes) após passarem por absorvedores.
- Produzem radiação secundária ao atravessar um corpo.
- Propagam-se em linha reta e em todas as direções.
- Atravessam um corpo tanto melhor, quanto maior for a tensão do tubo (kV)
- No vácuo, propagam-se com a velocidade da luz.
- Obedecem a lei do inverso do quadrado da distância ($1/r^2$).
- Podem provocar mutações genéticas ao interagir com células reprodutivas.

23.2) Tubo de raios X

Um tubo de raios X (figura 5) é um conversor de energia. Recebe energia elétrica que converte em raios X e calor. É constituído pelo anodo e pelo catodo. O catodo, geralmente um filamento de tungstênio, é aquecido por um circuito apropriado, até atingir alta temperatura produzindo os elétrons que atingem o alvo (anodo) num ponto bem determinado, chamado de ponto focal. O tamanho do ponto focal oscila entre 1,3 e 1,5 cm para foco grosso e é menor que 1 cm para foco fino.

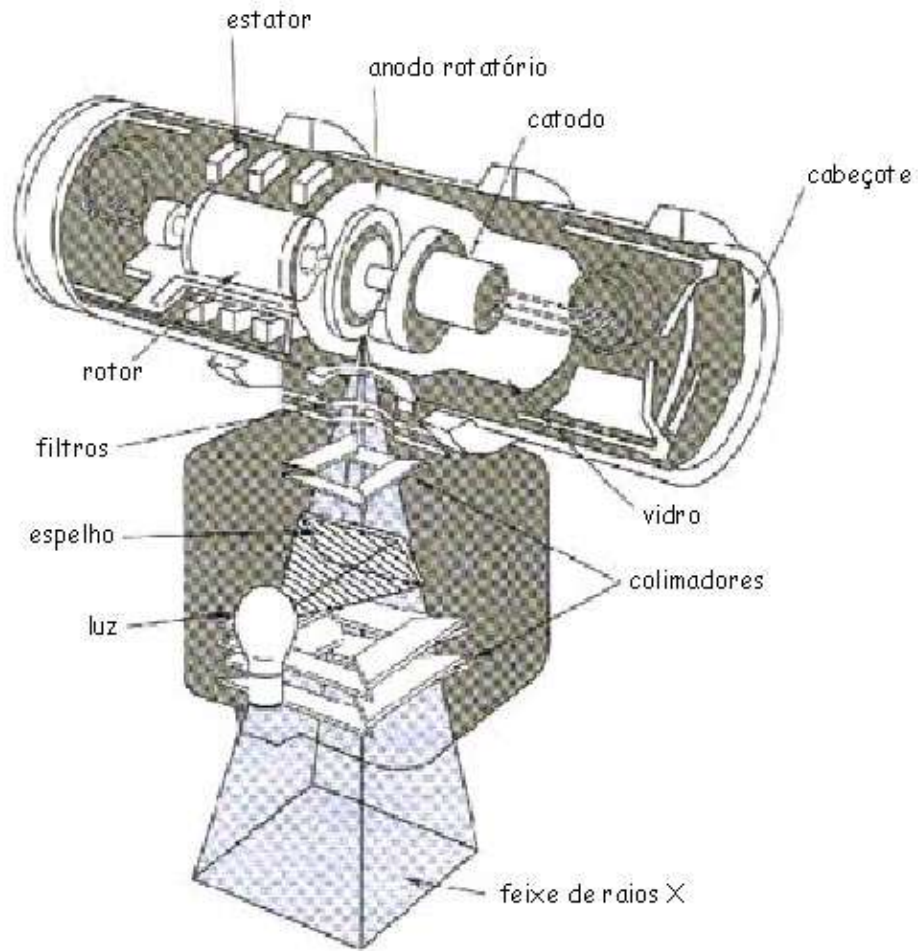


Figura 5

O anodo é um disco de metal, geralmente W (tungstênio) onde os eletrons incidem produzindo os raios X. O anodo converte energia elétrica em raios X (1%) e em calor (99%).

O material do anodo deve ter algumas características essenciais :

- *Alto número atômico (alta eficiência na produção de raios X)*
- *Baixa taxa de evaporação (para evitar metalização do vidro da ampola)*
- *Alta resistência física quando aquecido*
- *Alto ponto de fusão*
- *Alta condutividade térmica (dissipação rápida de calor).*

A ampola é geralmente constituída de vidro de alta resistência e mantida em vácuo. Dentro dela estão fixados o anodo e o catodo. Sua função também é a de promover isolamento térmico e elétrico entre as partes.

O cabeçote contém a ampola e demais acessórios. É geralmente de chumbo ou cobre cuja função é de blindar a radiação de fuga. Possui uma janela radiotransparente por onde passa o feixe. O espaço é preenchido com óleo que atua como isolante elétrico e térmico.

É no comando do aparelho que se localizam os controles necessários para a definição da técnica radiográfica a ser empregada em cada tipo de exame. Os principais parâmetros são : KV, MA, tamanho do ponto focal e tempo de exposição.

20) Formação, Processamento e Registro da Imagem Radiográfica

A imagem radiográfica é uma janela para o corpo. O uso dos raios X proporciona a obtenção de imagens internas do corpo humano, de modo não invasivo.

O processo radiográfico envolve várias etapas: a formação da imagem que inicia-se com a absorção da energia proveniente dos raios X ou da luz pelos cristais de haleto de prata da emulsão do filme. Quanto mais exposição receberem, mais sensíveis serão ao processo de revelação. A imagem formada nesta etapa é chamada de imagem latente pois não pode ser detectada com métodos físicos usuais. Esta imagem é convertida em imagem visível pela ação dos químicos que atuam no processo de revelação dos filmes. Após o processamento, o filme é lavado e secado estando pronto para o manuseio.

Atualmente um dos métodos mais usados para a obtenção de imagens em radiografia convencional é fazendo uso da combinação tela-filme.

O filme radiográfico é um conversor de imagem. Converte luz em diversos tons de cinza. A quantidade de exposição necessária para produzir uma imagem depende da sensibilidade ou velocidade do filme. A velocidade é escolhida tendo-se em mente dois fatores importantes: exposição do paciente e qualidade da imagem. O filme de alta velocidade reduz a dose no paciente mas, por outro lado, degrada a qualidade da imagem.

As telas intensificadoras são utilizadas para produzir luz que irá impressionar o filme radiográfico. Recentemente, com o advento das telas modernas de terras raras (lantânio, gadolínio, etc...) está havendo uma substituição das antigas pelas modernas, cujo uso já é exigido por leis na maioria dos países (no Brasil a partir de 1/6/98), sua velocidade é, pelo menos, 8 vezes maior que as antigas. O material fluorescente das telas, tem a propriedade de emitir luz quando irradiado por um feixe de raios X. É esta luz que vai impressionar o filme radiográfico. Apenas cerca de 5 % da imagem será formada pela ação direta dos raios X, 95 % será formada pela ação da luz proveniente destas telas intensificadoras.

O filme radiográfico é muito mais sensível à luz do que aos raios X, conseqüentemente o uso das telas possibilita uma substancial redução do tempo de exposição e que acarreta uma diminuição da dose fornecida ao paciente podendo esta redução chegar até 100 vezes !

21) Métodos Radiográficos Especiais

Tomografia significa corte. Portanto a tomografia consiste na obtenção de uma imagem num plano de corte pré-determinado.

Tomografia Linear : a Tomografia Linear consiste de uma técnica que emprega um aparelho de raios X convencional o qual possui uma haste que possibilita sua movimentação nas direções longitudinal, oblíqua e antero-posterior de acordo com o posicionamento do paciente na mesa. O tubo move-se simultaneamente e em sentido oposto ao filme. Deste modo a imagem fica desfocada devido à movimentação. O único plano que aparece focado é o chamado "fulcrum" ou plano de corte. Deste modo, a imagem focada, destaca-se das demais realçando os detalhes anatômicos no plano pré-selecionado.

Tomografia Computadorizada : a Tomografia Computadorizada foi introduzida em 1972 e é conhecida pelo alto poder de diagnóstico. A Tomografia Computadorizada (TC) é o primeiro método radiológico onde a imagem do paciente não é representada por diferentes graus de cinza. As imagens são formadas indiretamente através de um algoritmo de reconstrução que consiste numa seqüência de instruções matemáticas das projeções de raios X obtidas pela irradiação do paciente a diferentes ângulos. Cada uma destas projeções representa o conjunto das atenuações de todas as estruturas que situam-se entre o tubo de raios X e os detetores. A imagem é obtida em várias etapas e os sinais obtidos são convertidos pelos detetores em uma imagem médica.

Os principais parâmetros do TC são ajustados previamente : KV, MA, número de projeções, algoritmo, tempo de varredura e espessura de corte.

Fluoroscopia

A técnica de fluoroscopia produz uma imagem contínua e instantânea que é especialmente útil para guiar procedimentos, procurar através de uma seção do corpo determinadas doenças e observar uma função dinâmica. A fluoroscopia só deve ser utilizada se a informação clínica desejada não puder ser obtida por meio da radiografia convencional. Nesta técnica, o operador deve sempre estar atento ao tempo de exposição. A maioria dos equipamentos modernos possui um temporizador que produz um sinal audível e desliga o aparelho após 5 minutos de exposição.

O principal avanço da fluoroscopia foi o advento do intensificador de imagens acoplado ao sistema de vídeo.

O equipamento consiste de um intensificador de imagens, um sistema de distribuição ótico e um circuito fechado de TV. Opcionalmente, um sistema de spot film ou cine pode também ser acoplado ao equipamento.

O intensificador de imagens é um equipamento que converte raios X em luz e ao mesmo tempo aumenta sua intensidade. O ganho dos equipamentos modernos chega a 5000 ou mais, e a redução da dose no paciente alcança 90 %.

O tubo do intensificador de imagens é conectado a uma fonte de energia cuja função é acelerar os elétrons para que estes atinjam a tela de saída com alta energia que então, são convertidos em luz.

Subtração Digital

A subtração digital envolve as seguintes etapas : a primeira imagem chamada de máscara é obtida antes da aplicação do contraste e contém todas as estruturas anatômicas normalmente presentes numa radiografia convencional. A segunda imagem é obtida após a aplicação do meio de contraste. A imagem final será a subtração das duas e conterá somente as estruturas nas quais o contraste está atuando. Com este procedimento, estruturas vasculares com baixa concentração de contraste podem ser visualizadas. Vários métodos podem ser usados para reduzir problemas de movimentação que fazem com que as imagens não coincidam perfeitamente. Um deles é obter no início do procedimento várias imagens da máscara e no final verificar qual se ajusta melhor à subtração.

Mamografia

A mamografia é uma técnica radiográfica que faz uso de um tubo de raios X com características específicas. O tubo de raios X está acoplado a um arco móvel o qual possibilita um direcionamento angular adequado aos diversos tipos de incidência : médio-lateral-obliqua, crânio-caudal, etc... . Possui ainda uma bandeja de compressão cuja finalidade é homogeneizar a espessura da mama, imobilizando-a ao mesmo tempo.

O sistema de detecção faz uso do tradicional conjunto tela-filme. No entanto, o filme de mamografia deve ser especial e de alto contraste para que possa compensar o baixo contraste-objeto inerente ao tecido mamário. A técnica radiográfica empregada é de baixa KV e alta MA. Consequentemente, as doses de radiação são altas.

22) Garantia de Qualidade em Radiodiagnóstico

No Brasil, recentemente, com a publicação da portaria # 453 da SVS/MS "Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico" em 02/06/98, tornou-se obrigatória a implantação de diversos aspectos relativos à qualidade dos Serviços Radiológicos de Saúde dentre os quais, a implantação de um PGQ em toda instituição que faça uso de radiações ionizantes. Esta portaria, originou-se da constatação feita pelo IRD/CNEN (Instituto de Radioproteção e Dosimetria/Comissão Nacional de Energia Nuclear) através de seus programas RXD e RXO, de que cerca de 80 % dos equipamentos de radiodiagnóstico no Brasil, encontravam-se fora dos padrões mínimos de qualidade. Esta falta de controle de qualidade acarreta altas doses nos pacientes e custos elevados provocados pelos altos índices de rejeição de radiografias.

Testes de Controle de Qualidade :

Os testes de controle de qualidade são parte importante do PGQ e devem ter periodicidade adequada e ser feitos, no mínimo, de acordo com os intervalos estabelecidos na portaria # 453. No entanto, cada instituição deve estabelecer seus próprios protocolos, de acordo com a idade e a taxa de uso dos equipamentos e as condições de manutenção dos mesmos.

Os testes de controle de qualidade permitem que se obtenham equipamentos estáveis e que reproduzam o mesmo padrão de imagem para uma determinada técnica radiográfica. A padronização da técnica radiográfica visa maximizar a qualidade da imagem.

Os testes obrigatórios são : KV_p mA.s, camada semi-redutora, alinhamento do feixe central, linearidade da taxa de exposição com mA.s, rendimento do tubo, reprodutibilidade da taxa de exposição, reprodutibilidade do controle automático de exposição (AEC), tamanho do ponto focal, integridade dos equipamentos de proteção individual, vedação das câmaras escuras, exatidão do sistema de colimação, resolução de baixo e alto contraste em fluoroscopia, contato tela-filme, alinhamento de grade, integridade de telas e chassis, condições dos negatoscópios, índice de rejeição de radiografias, temperatura do sistema de processamento, sensitometria do sistema de processamento e calibração, constância e uniformidade dos números de TC.

Vestimentas de Proteção Individual (VPI)

Existem diversos tipos de vestimentas (figura 6) destinadas a proteger as pessoas contra os efeitos das radiações ionizantes. Dentre as mais usadas, encontram-se os aventais de chumbo (longos ou

curtos), os protetores de tireóide e de gônadas, os óculos plumbíferos, as luvas e as mangas protetoras. Estas vestimentas possuem especificações e equivalência em chumbo que devem ser adequadas ao tipo de radiação a qual se vai estar exposto. Além disso, pode-se também fazer uso de anteparos móveis de chumbo (biombos de chumbo).

Sempre que possível, deve-se utilizar as VPIs tanto no staff médico, quanto nos acompanhantes quando estes são solicitados a conter ou confortar um paciente. Devem também ser usadas pelos próprios pacientes a fim de evitar exposições desnecessárias de regiões do corpo que não estão sendo radiografadas.

Cuidados devem ser tomados quanto à manipulação das VPIs. Os aventais de chumbo são especialmente frágeis e devem ser manipulados cuidadosamente. Após o uso, devem ser guardados em cabides apropriados ou sempre na posição horizontal sem dobras. Os maus tratos podem causar fissuras e até mesmo o rompimento do lençol de chumbo, reduzindo o poder de proteção do mesmo e consequentemente, sua vida útil.



Figura 6

23) Valores típicos de Doses em Diagnóstico

RADIOGRAFIA

- *Radiografia de tórax PA = 0,03 mSv*
- *Radiografia de abdômen AP = 0,5 mSv*
- *Pelve AP = 0,2 mSv*

FLUOROSCOPIA

- *Enema de bário (contraste simples) = 3,1 mSv*
- *Angiografia cerebral = 3,5 mSv*
- *Angiografia coronariana = 18 mSv*
- *Colocação de stent coronariano = 50 mSv*

MEDICINA NUCLEAR

- *Screening ósseo (Tc-99m) = 4,4 mSv*
- *Perfusão miocárdica (Tl-201) = 18 mSv*

TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

- *Cabeça = 1,3 mSv*
- *Tórax = 5,5 mSv*
- *Pelve e abdômen = 8 mSv*

DENSITOMETRIA ÓSSEA

- *Do corpo inteiro = 0,01 mSv*

24) Acidentes, Situações de Emergência

Classificação de acidentes

- *Contaminação externa (pele) e interna (penetração no organismo via pele, ingestão ou inalação)*

- *Exposição aguda ou crônica*

Providências:

- *Isolar a área*
- *Afastar as pessoas*
- *Identificar a fonte de contaminação ou irradiação*
- *Contatar o Supervisor de Proteção Radiológica*
- *Contactar a Coordenação de Fiscalização Sanitária da Secretaria de Estado de Saúde sobre a ocorrência para as devidas providências*
- *Proceder a análise da estimativa de doses*
- *Descontaminar a área, no caso de fontes não seladas*
- *Convocar os potencialmente irradiados ou contaminados para se submeterem a exames médicos*
- *Analisar o ocorrido e implementar procedimentos para evitar novos acidentes*

Principais Causas de Acidentes:

- *Falha nas instalações*
- *Defeitos nos equipamentos de proteção radiológica*
- *Defeitos dos equipamentos (ex.: tubos de raios X)*
- *Fadiga do operador*
- *Horário inadequado de trabalho*
- *Rotina cansativa e monótona*
- *Extravio ou furto de fontes*
- *Incêndio*
- *Colisão de viatura transportando materiais radioativos*
- *Relaxamento nas medidas de segurança decorrentes da monotonia da rotina*

Medidas preventivas:

- *Existência de condições seguras*
- *Prática de atos seguros*
- *Personalidade do trabalhador*

25) Aplicações das Radiações Ionizantes em Medicina e Outra Áreas

Medicina Nuclear: mapeamento de órgãos através de estudos dinâmicos e orgânicos com I^{131} . Estudos hematológicos usando $Co\ 60$, $Fe\ 59$ e $P\ 32$.

Radioterapia: destruição de neoplasias com o uso de $Co\ 60$ e aceleradores lineares.

Outras aplicações:

- Avaliação de homogeneidade de peças e soldas através da gamagrafia.
- Testes de resistência de pneus
- Detetores de fumaça
- Irradiação de alimentos para eliminação de fungos, retardo do amadurecimento de frutas e legumes e esterilização.
- Estudo da fertilidade do solo.
- Estudo da dinâmica de rios.

26) Radioterapia

O emprego da radiação ionizante nos serviços de radioterapia tem como finalidade precípua o tratamento de tumores malignos. O princípio básico da ação da radiação eletromagnética sobre um tecido tumoral é a ionização que direta ou indiretamente é sofrida pelos seus átomos ou moléculas com conseqüente destruição das células malignas. Uma das maiores preocupações que se tem ao se utilizar o tratamento com a radioterapia é maximizar o dano no tecido tumoral, preservando ao máximo, os tecidos vizinhos normais. Isto é conseguido adequando-se devidamente a técnica ao caso específico, sendo que muitas vezes torna-se inevitável, o dano ao tecido normal. O advento de novas fontes de radiação, de características físicas próprias, e o conhecimento do modo pelo qual estas interagem com as células vivas, possibilitou novos métodos de tratamento em que a concentração de radiação no tecido tumoral fosse maior e menos danosa ao tecido sadio.

O tratamento radioterápico possui, basicamente, dois grandes grupos a saber:

Teleterapia: tele significa distância. Nesta categoria enquadram-se os feixes de raios X, os feixes de raios gama e os elétrons de alta energia. Esses feixes são utilizados através de dispositivo, contendo em seu interior uma fonte de radiação que, colocados a aproximadamente 1 metro do paciente promovem a irradiação do volume alvo. Em teleterapia, o risco ocupacional é pequeno uma vez que, ao serem expostos, os pacientes ficam isolados, em sala blindada.

Braquiterapia: braqui significa curto, perto. A braquiterapia é um método de terapia no qual, uma ou várias fontes encapsuladas são utilizadas para liberar radiação alfa ou beta, a uma distância de poucos centímetros, através de aplicações intersticiais, intracavitárias ou superficiais. Em alguns casos, a braquiterapia torna-se o método de eleição, em razão da proximidade com a massa tumoral, diminuindo o risco de se aplicar uma dose inaceitável nos tecidos sãos adjacentes. Com relação a

intensidade da fonte, a braquiterapia trabalha com Baixa Taxa de Dose (BTD) e Alta Taxa de Dose (ATD). Como o próprio nome sugere, a diferença reside no tempo de exposição. Na BTD, a fonte permanece no paciente por períodos que vão de dias até os implantes permanentes, dependendo do tipo e localização do tumor e também da atividade da fonte. O advento de equipamentos modernos de ATD, que são adequados para alguns tipos de tumores, causou uma redução substancial do tempo de tratamento. Quanto ao tipo de carregamento, os equipamentos podem ser manuais ou pneumáticos. Os de carregamento manual, requerem treinamento específico do pessoal de enfermagem e técnicos uma vez que estarão diretamente em contato com a fonte. Já nos equipamentos pneumáticos, o carregamento é feito 'a distância, sendo os riscos de exposição ocupacional bastante reduzidos.

27) Medicina Nuclear

A medicina nuclear é uma especialidade médica que se utiliza de fontes de radiação ionizante não seladas (fontes abertas) para fins diagnósticos e terapêuticos. O uso dessas fontes, conhecidas como radioisótopos, consiste na associação de um radionuclídeo a um fármaco que apresenta afinidade específica a determinados órgãos e tecidos do corpo humano. A emissão de radiação ionizante, deste conjunto denominado radiofármaco, permite o seu acompanhamento, externamente ao corpo, através de detectores especiais. Os sinais capturados são processados eletronicamente e convertidos em imagens ou contagens, cuja representação gráfica reflete a situação da função do corpo estudada.

Incorporação Crônica ou Contínua: um exemplo deste processo é o caso de moradores de áreas que apresentam alta concentração natural de material radioativo. Estas pessoas estão expostas continuamente, aos elementos radioativos, incorporando-os de forma crônica.

Incorporação Única: pode ser relacionada a um acidente onde a liberação de material radioativo ocorre em um curto intervalo de tempo.

Várias Incorporações: podem ser relacionadas a contatos freqüentes com material radioativo, como, por exemplo, o que ocorre com profissionais ocupacionalmente expostos. Após a incorporação, os radionuclídeos são metabolizados pelo organismo.

A MN abrange dois aspectos: o diagnóstico e a terapia. No diagnóstico as doses administradas são bastante baixas.

O trabalho rotineiro em um serviço de medicina nuclear, emprega recursos humanos de diferentes formações. De um modo geral, as equipes são composta pelos seguintes profissionais e suas respectivas atribuições:

Médico especialista em medicina nuclear

1. *Prestar atendimento clínico ao paciente*
2. *Decidir pela real relevância do exame quanto a elucidação do diagnóstico pretendido ou a eficácia do tratamento prescrito*
3. *Prescrever o radiofármaco e determinar a rotina a ser seguida.*
4. *Avaliar a imagem obtida com descrição dos achados radiológicos*
5. *Acompanhamento na realização do exame.*

Técnico em medicina nuclear:

1. *Preparar o paciente no aparelho, posicionando-o nas incidências desejadas*
2. *Realizar os exames, sob orientação do médico especialista*
3. *Providenciar o processamento dos filmes na câmara escura*
4. *Proceder a operação, manutenção e limpeza de todos os equipamentos utilizados no exame*
5. *Calibrar os aparelhos antes da realização do primeiro exame do dia.*

Enfermeiro e técnico de enfermagem

1. *Encaminhar o paciente à sala de exame,*
2. *Administrar a dose recomendada e orientar o paciente quanto aos procedimentos a serem realizados,*
3. *Controlar a liberação dos pacientes internados e ambulatoriais*
4. *Marcar os exames preliminares de medicina nuclear, coletar o sangue para dosagem hormonal, controlar a medicação prescrita, a internação e a alta,*
5. *Atender, de imediato, as eventuais intercorrência clínicas.*

Radiofarmacêutico

1. *Receber, registrar e armazenar, em local apropriado, de todos os adquiridos pelo serviço*
2. *Eluir os geradores de tecnécio, marcar os kits de radiofármacos e fracionar as respectivas doses*
3. *Controlar a qualidade dos kits e dos radionuclídeos*
4. *Diluir o iodo*
5. *Controlar os rejeitos radioativos gerados no serviço*

Físico:

1. Fazer o levantamento radiométrico de todos os setores do serviço
2. Fazer o controle diário da qualidade da imagem
3. Gerenciar os rejeitos radioativos
4. Acompanhar mensalmente as doses individuais recebidas pelos trabalhadores
5. Treinar e reciclar periodicamente, em proteção radiológica, todo o pessoal do serviço
6. Implantar novas técnicas e testes regulares dos aparelhos

28) Grandezas e unidades

- **Atividade:** Bq . Número de transformações nucleares por unidade de tempo
- **Exposição:** $\mathcal{R} (C/kg)$. Quantidade de carga coletada numa massa específica de ar seco
- **Dose Absorvida:** $\mathcal{D} (Gy = J/Kg)$. Relação entre a energia absorvida e o volume atingido ($1 Gy = 100 rad$)
- **Dose Equivalente:** $\mathcal{H} = \mathcal{D} \cdot Q (Sv = J/Kg)$
- **Dose Efetiva :** $\mathcal{E} = \mathcal{D}_T \mathcal{W}_T \mathcal{H}_T (Sv)$. Leva em conta o tecido ou órgão irradiado. \mathcal{W}_T é o fator de peso do tecido ou órgão. $\mathcal{D}_T \mathcal{W}_T = 1$

Para radiografias de tecidos moles $1\mathcal{R} = 1 rad = 1 rem$

Equivalências (unidades antigas):

$$1 Bq = 2,7 \times 10^{-11} Ci$$

$$100 rad = 1 Gy$$

$$1 \mathcal{R} = 0,87 rad = 0,0087$$

$$1 Sv = 100 rem$$

29)Leitura recomendada

- *The Physics of the Body* (J.R.Cameron)

- *The Physics of Radiology (H.E. Johns & J.R. Cunningham)*
- *Essentials of Radiology Physics (C.A. Kelsey)*
- *Medical Physics (J.R. Cameron)*
- *The Basics of Film Processing in Medical Imaging (A. G. Haus, S. M. Jaskulski)*
- *Sensitometric Properties of X Ray Films (Eastman Kodak Company)*
- *Radiologic Science for Technologists : Physics, Biology and Protection (S.C. Bushong)*
- *Radioproteção e Dosimetria : Fundamentos (L. Tauhata, I.P.A. Salati, R. di Prinzio, A. R. di Prinzio) IRD/CNEN*
- *Notas do Curso Básico de Licenciamento e Fiscalização em Radiologia Médica e Odontológica (IRD/CNEN 1999)*
- *Meguerian, B.A., Magaro, J.G., Primeiros Socorros nas Contaminações com Substâncias Radioativas, Med. HUPE-UERJ, 7(1), 45 (1988).*