

1546
AS RADIAÇÕES E O RISCO PROFISSIONAL DO ANESTESIOLOGISTA

DR. JOÃO BRENHA RIBEIRO (*)

AP 1894
O autor chama a atenção, inicialmente, para o interesse pelo estudo do assunto. A seguir, cuida de dados históricos relativos às descobertas e aos usos das radiações em medicina e biologia, estuda os principais aspectos teóricos da físico-química das radiações bem como seus efeitos sobre os organismos vivos e, finalmente, lembra as principais medidas de proteção para conhecimento daqueles que a elas estão expostos.

De alguns anos para cá, cresceu enormemente o interesse pelo estudo dos efeitos de radiações sobre o organismo humano e pela sua profilaxia. É sabido que o anestesiolegista, no exercício de seu trabalho, está, muitas vezes, permanentemente sujeito a exposições diversas e, portanto, submetido a mais este tipo de risco profissional.

No exterior, há vários anos a importância do problema foi reconhecida e numerosos trabalhos procuraram demonstrar os perigos das radiações a que está exposto o anestesiolegista no trato de seus pacientes.

Reconhecendo o valor do tema e dada a inexistência de publicações nacionais na literatura anestesiológica, consideramos de grande interesse a apresentação dos dados que passamos a considerar.

PROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES

1 — *As radiações exercem seus efeitos biológicos por transferirem a energia que carregam para o organismo vivo. Dentre as radiações, algumas, como a luz e o calor, produzem apenas aquecimento, mas existem outras cujo principal me-*

(*) Do Serviço Médico de Anestesia (S.M.A.) de São Paulo.

canismo de ação é o de provocar ionização das substâncias componentes do protoplasma: são as radiações ionizantes. A energia que elas cedem às células arranca elétrons dos átomos constituintes da mesma, criando pares iônicos (o elétron livre e o íon positivo). As substâncias ionizadas têm sua atividade química exacerbada, desencadeando-se entre elas reações químicas das quais decorrerão os efeitos biológicos das radiações.

2 — *A história das radiações ionizantes* é bem recente. Há menos de um século, no último decênio do século XIX, duas descobertas marcaram seu início. Röntgen, trabalhando com tubo de raios catódicos, descobriu que o impacto desses raios determinava o aparecimento de ondas de tipo eletro-magnético, capazes de produzirem luminescência em certos materiais, como sulfeto de zinco. Outros pesquisadores verificaram que essas ondas tinham grande capacidade de penetração, mesmo através de corpos sólidos e opacos. Essas ondas foram designadas raios X. Aproximadamente na mesma época, Henry Becquerel trabalhando com minério de urânio, que sabia ser luminescente (pixeblenda), encontrou nele a propriedade de emissão de raios também de grande penetração. Alguns anos mais tarde Pierre e Marie Curie mostraram que essas radiações eram devidas a um elemento, o rádio, existente como impureza no mineral de urânio, tendo sido mais tarde identificada a dupla natureza dessa emissão eletromagnética em radiação semelhante aos raios X, a qual se designou de Raios Gama, e corpuscular em radiação constituída de partículas de matéria carregadas de eletricidade. Estava descoberta a radioatividade natural e esboçado o capítulo das radiações ionizantes ao se estabelecer a sua natureza eletromagnética ou corpuscular.

O uso dos raios X em diagnóstico e terapêutica seguiu-se logo à sua descoberta e em breve se notou também a possibilidade dos mesmos provocarem queimaduras na pele, tipo irradiação solar. Paralelamente, os pesquisadores da radioatividade natural começaram a sofrer os efeitos das radiações em termos de lesões cutâneas, especialmente nas mãos e no tórax. Durante a primeira guerra mundial, a necessidade de se obter mostradores luminescentes levou à utilização de tintas compostas com material radiotivo. Várias pessoas empregadas nesses afazeres, em virtude de um hábito comum desses pintores, o de umedecerem os pequenos pincéis nos lábios, ingeriram assim quantidades significativas de rádio. Após a guerra começaram a surgir as vítimas de tal procedimento, com tumores ósseos e sanguíneos, e logo que se estabeleceu a relação de causa e efeito, essas pessoas passaram a ser seguidas, tendo-se evidenciado entre elas várias patologias de tipo tumoral, muitas das quais terminaram com a morte.

Nas primeiras décadas do século XX, várias sociedades científicas ligadas às radiações se preocuparam em estabelecer os parâmetros relativos à proteção contra a radiação, criando-se a dosimetria e estabelecendo-se as doses potencialmente lesivas. De início eram elas empíricas, como a dose eritema, relacionando com a queimadura cutânea, mas posteriormente, a criação nos Estados Unidos da América do National Committee On Radiation Protection e do organismo internacional, a International Commission for Radiological Protection levaram ao estabelecimento, por volta de 1936, das doses de tolerância baseadas em unidades de dosagem mais precisas, como o Röentgen, o Rad e o Rem. O conceito de dose de tolerância, que como o nome indica, seria baseado na dose não prejudicial; evoluiu depois, particularmente por influência dos geneticistas, para o conceito de dose máxima permissível. As radiações seriam sempre potencialmente lesivas, mas seu uso se justificaria num critério de balanço entre o risco e o benefício delas decorrentes, dentro de limites permissíveis variáveis conforme grupos de pessoas relacionadas por alguma razão à radiação. Assim, em casos de aplicação terapêutica das radiações no tratamento de um tumor maligno, as doses permissíveis são muito superiores às doses permissíveis para o aplicador da radiação, que sadio, tem como única razão para receber radiações sua condição profissional. Estabelecem-se, também, diferenças entre as exposições de corpo inteiro e de regiões do corpo, como as mãos, as gônadas e órgãos hematopoiéticos, e ainda para exposição contínua, como no caso do pessoal que trabalha com radiações ou para exposição isolada como numa única aplicação diagnóstica de raios X.

3 — *O emprego crescente das radiações como método diagnóstico, como terapêutica de tumores e ainda em processos de avaliação da quantidade e de distribuição de substâncias no organismo (isótopos artificiais, como traçadores) envolve com frequência, por vários motivos, a colaboração do anestesologista, que passou assim a integrar o grupo dos que, por razão profissional, se expõem a doses extraordinárias de radiações ionizantes, tornando-se objeto da proteção contra as radiações. Essa matéria constitui hoje um capítulo de várias ciências, desde a Física até à Higiene, recebendo em língua inglesa duas designações sinônimas: Radiation Protection e Health Physics.*

Basicamente, qualquer proteção exige conhecer bem a natureza da agressão, e isto é bem mais importante em termos de proteção contra as radiações ionizantes, pois não possuindo elas nenhuma característica primária perceptível pe-

los sentidos humanos, privam o indivíduo dos seus mecanismos instintivos de defesa.

Deve-se ter inicialmente presente as seguintes idéias: — a) Embora já se tenha acumulado uma grande quantidade de conhecimentos sobre as ações das radiações no organismo vivo, persistem muitos pontos a serem esclarecidos. Os efeitos nocivos das radiações são bem demonstrados, mas existem evidências também de que um certo nível de radiação é necessário à vida, como ocorre com animais e plantas que tem seu desenvolvimento prejudicado em determinados habitats, onde as condições naturais barram as radiações provindas dos espaços cósmicos.

Seguramente, desde sua origem, o homem está sujeito às radiações de origem natural telúrica e cósmica, que sem dúvida participaram do processo evolutivo das espécies. Sobre essa base natural é que as radiações provocadas pelo homem são adicionadas. A propósito da ação das radiações sobre os organismos vivos formularam-se duas hipóteses: a do limiar de tolerância e a linear. Sustenta a primeira que até determinado nível de exposição as radiações não seriam prejudiciais, enquanto que a segunda julga que os efeitos das radiações são progressivamente maléficos, conforme aumente a intensidade da exposição.

Segundo o entendimento atual, toda a radiação extraordinária deve ser considerada como potencialmente nociva, dando-se ênfase especial aos efeitos genéticos. b) Os efeitos das radiações são dependentes da dose e do tempo em que essa dose é absorvida. Uma determinada dose provocará um efeito mais ou menos marcado na dependência do tempo em que ela foi recebida. c) O anestesista, como qualquer outro profissional que por condição do seu trabalho esteja submetido a doses extraordinárias de radiações, deve lembrar que a estas se somam as exposições a que está sujeito como membro comum da coletividade, sejam elas naturais ou produzidas no meio em que vive por um artifício. Incluem-se aqui aquelas exposições a radiações a que se submete como um paciente eventual. A radioatividade natural varia de lugar para lugar na superfície do globo e depende da existência de minerais radioativos, rádio, urânio e tório na série dos pesados, ou potássio e rubídio na série leve. A radioatividade artificial participará das eventuais exposições a que se submeta em laboratórios de pesquisa ou da proximidade de reatores nucleares e de quantas outras condições que possam ser produzidas pelo homem e que venham a aumentar a intensidade das radiações no local.

4 — *Física das radiações* — A idéia da composição descontínua da matéria nos vem da Grécia antiga, onde Demó-

crita, em base puramente filosófica imaginou-a composta por unidades indivisíveis a que denominou átomos. Esse modelo atômico, que pode ser entendido como uma esfera sólida, serviu na fase experimental da ciência, para explicar os fenômenos químicos descobertos por Dalton, Proust, Richter-Wenzel — Berzelius, relativos às reações químicas e às proporções em que os reagentes participam das mesmas. Mas com o início da eletro-química (Faraday) os fenômenos de transferência de cargas elétricas sugeriram a complexidade da estrutura atômica com a existência de quantidades definidas de carga. Isto abria a possibilidade de se imaginar a composição do átomo em base de partículas elementares carregadas de eletricidade. Em 1897 J. J. Thomson estudando os raios catódicos concluiu que eles, em face das propriedades que apresentavam não podiam ser entendidos senão como formados de partículas de matéria carregadas de eletricidade negativa. Estudou a massa e a carga dessas partículas, encontrando que eram quase que duas mil vezes mais leves que o átomo de hidrogênio. Com base em seus estudos sugeriu um modelo atômico que era compacto como o de Demócrito, apresentando como novidade ser formado dessas partículas elementares negativas, posteriormente chamadas de elétrons, agrupadas por um carga positiva desprovida de massa. A descoberta da radioatividade e a identificação de partículas sub-atômicas carregadas de carga positiva, partículas que correspondiam a um átomo de Hélio bi-ionizado, as partículas Alfa, tornou a movimentar o conceito da estrutura atômica. Em 1911, Rutherford bombardeando uma lâmina de ouro com partículas Alfa verificou que algumas entre elas eram fortemente repelidas a ponto de retrocederem, enquanto que outras atravessavam a lâmina sem desvio. Para explicar tal fenômeno criou um modelo atômico onde a principal massa do átomo se encontrava concentrada no seu centro, que foi denominado de núcleo, ocupando um volume cujo diâmetro era da ordem de 10^{-13} cm carregado de eletricidade positiva, tendo em seu redor partículas negativas de pequena massa, os elétrons, gravitando em órbitas à semelhança do sistema solar, que so seu conjunto recebe o nome de coroa. O diâmetro externo do átomo era da ordem de 10^{-8} cm. Esse modelo de Rutherford esbarrava em uma dificuldade teórica decorrente da aplicação das leis do eletromagnetismo à concepção. Os elétrons, partículas carregadas em movimento, deveriam gerar ondas eletromagnéticas cuja irradiação roubaria deles energia que assim iriam, em movimento espiralado, cair sobre o núcleo. N. Bohr, em 1913, sugeriu que tal dificuldade seria facilmente resolvida se se aplicasse ao átomo de Rutherford a teoria da mecânica quântica. Em 1900 Max Plank estudando o espectro

dos corpos negros aquecidos havia sugerido que a energia também era descontínua, só se transferindo em porções cada uma delas denominada por ele de "quantum". Assim uma radiação eletromagnética, desde o calor irradiante, passando pelo espectro da luz até os raios Gama, não é emitida sob a forma de um fluxo contínuo de energia, mas sim como um grande número de pequenos "pacotes" de energia. Einstein em 1905, lançou mão desta teoria para explicar o fenômeno foto-elétrico, inexplicável à luz da teoria eletromagnética clássica, tendo designado por "foton" as porções discretas que compõem um feixe de energia radiante. "Foton" e "quantum" são, pois, sinônimos, e "fotons" e "quanta" exprimem o plural daqueles termos. Esses "fotons" ou "quanta" tem um valor especial para cada tipo de energia, dependendo diretamente da sua frequência (relação inversa do comprimento de onda) sendo quantificada pelo produto de uma constante, a constante de Plank pela frequência da radiação $E = h \cdot \nu$. Qualquer transferência de energia através de radiação se processa por um número inteiro deste produto: $E = n \cdot h \cdot \nu$.

Bohr lançou mão desses conceitos e imaginando que os elétrons do átomo gravitassem em torno do núcleo em órbitas estáveis nas quais não irradiavam energia. Essas órbitas existiriam em função de valores quânticos, sendo que a passagem de um elétron de uma órbita interna para uma externa, só seria possível pela absorção de uma quantidade de energia que deveria ser fornecida ao átomo, e por outro lado a passagem ou retorno de um elétron de uma órbita periférica para uma mais central seria sempre acompanhada por emissão de energia sob a forma de radiação eletromagnética.

O átomo de Rutherford e Bohr se presta para interpretação dos fenômenos líquidos e de alguns fenômenos físicos, mas vem sofrendo modificações que melhor o capacitem para interpretação mais genérica em física. Vários pesquisadores, como Sommerfeld, Louis de Broglie e Schroedinger têm proposto, com base na mecânica quântica, modificações do átomo de Rutherford e Bohr. Tem-se demonstrado, por exemplo, que as partículas elementares do átomo se comportam também como ondas eletromagnéticas o que confere à matéria uma dupla natureza corpuscular e ondulatória. De acordo com estas idéias os elétrons se distribuem em zonas de probabilidade de diferentes níveis de energia comportando-se como ondas eletromagnéticas estacionárias sem, portanto, emitirem energia, só ocorrendo variação de órbita pela absorção ou emissão de uma certa quantidade de energia eletromagnética. O modelo de Rutherford e Bohr continua sendo, entretanto, o ponto de partida para as novas conceituações da estrutura atômica.

mica e é suficiente para o entendimento do assunto que se está tratando no plano em que ele será abordado.

5 — *Partículas constituintes* — O núcleo atômico onde está concentrada a massa do átomo, com uma densidade da ordem de 10 toneladas por centímetro cúbico, é formado por dois tipos de partículas: o proton correspondendo ao átomo de hidrogênio ionizado, de massa unitária e carga elétrica positiva também unitária, e o neutron com a mesma massa mas sem carga. É curioso notar que o neutron só foi descoberto em 1932 por Chadwick. A massa do átomo é ligeiramente inferior à soma das massas dos protons e neutrons que constituem o seu núcleo, sendo essa diferença representada pela energia de agrupamento das partículas o que é conhecido como "princípio da equivalência" e que decorre da identidade entre matéria e energia relacionadas pela fórmula de Einstein: $E = m.c^2$, onde E é a energia, m a massa e c a velocidade da luz no vácuo. Assim, as partículas constituintes do núcleo se encontram em equilíbrio, massa-energia, que na maior parte dos elementos ocorre em nível de estabilidade. Quando essa relação não é estável o núcleo tende a expulsar matéria ou energia, o que constitui a radioatividade. Nessas circunstâncias algumas partículas constituintes do núcleo, ou associações delas são emitidas como radiação corpuscular. As partículas Alfa, por exemplo, emitidas pelo radium, são formadas de dois prótons e dois neutrons correspondendo assim a um átomo de Hélio duplamente ionizado. Protons que correspondem ao átomo de hidrogênio ionizado ou deuterons que são os núcleos do deutério ionizado também constituem emissões corpusculares radioativas. Outras partículas que não são componentes normais do núcleo atômico também podem surgir do reajuste matéria-energia nos núcleos radioativos, como por exemplo as radiações constituídas de partículas Beta, que têm massa igual à do elétron e carga ou negativa quando se assemelham ao elétron, ou positiva quando são designadas como positron. Além das radiações corpusculares o núcleo instável também pode emitir uma radiação sem massa de tipo eletromagnética denominada raio Gama em tudo semelhante ao raio X diferenciando-se no conceito atual deste, por sua origem nuclear, já que o raio X decorre de alterações energéticas da coroa atômica.

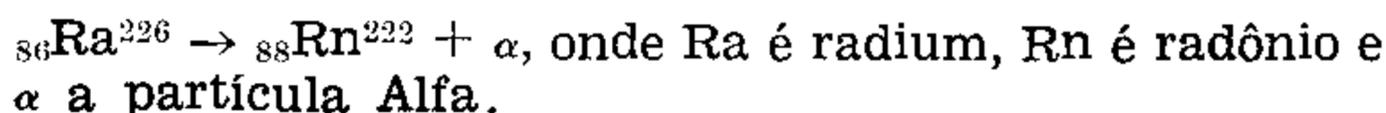
A coroa do átomo é formada por uma ou mais camadas onde se distribuem partículas de massa quase 2.000 vezes menor que o proton e de carga elétrica unitária negativa, os elétrons. Essas camadas ou órbitas no modelo de Rutherford e Bohr são identificadas por letras que se sucedem em ordem centrífuga de K a R. O átomo tem, do ponto de vista físico, duas características essenciais: sua massa atômica, M

e seu número atômico, Z. A massa atômica, quantidade de matéria de um átomo determinado, é definida em termos de comparação como a relação entre a massa do átomo em causa e 1/12 da massa do carbono 12. Teve anteriormente outros termos de comparação, como a massa do átomo de hidrogênio e 1/16 da massa do átomo de oxigênio. Chama-se de número de massa, A, o número de prótons e neutrons que constituem o número do átomo, cuja soma de massas unitárias compõem a massa atômica. O número atômico, Z, é um número de prótons existentes no núcleo do átomo. Em um átomo não ionizado corresponde ao número de elétrons da coroa. Um elemento qualquer é representado pelo seu símbolo com dois índices, um à direita e no alto indicando o número de massa, e outro à esquerda e em baixo, indicando o número atômico

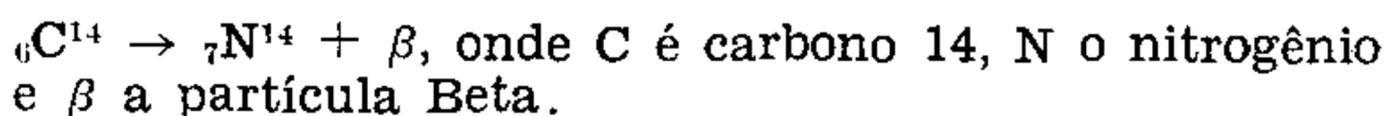
co $\overset{A}{X}$. Por exemplo, oxigênio ${}_8\text{O}^{16}$, carbono ${}_6\text{C}^{12}$, sódio ${}_{11}\text{Na}^{23}$.

6 — *Isótopos* — Em meados do século XIX, dois químicos, Mendeleiev e Meyer estudando as propriedades físicas e químicas dos elementos, verificaram que dispendo os elementos conhecidos de acordo com suas massas atômicas as propriedades químicas se assemelhavam segundo uma periodicidade. Criaram assim a tabela periódica dos elementos que evidenciou desde logo a existência de elementos com massas atômicas diferentes e propriedades químicas idênticas. Como os elementos que assim se comportavam ocupavam na tabela periódica uma mesma casa, eles foram designados de isótopos, palavra derivada de iso, mesmo, e topos, lugar. Isso ocorreu antes de se conhecer a estrutura do átomo, que ao ser desvendada esclareceu se tratavam de elementos com igual número de prótons no núcleo mas diferente número de neutrons. Por ser a carga elétrica do átomo dependente do número de prótons existente no núcleo e por serem as características químicas de um elemento decorrentes de sua carga elétrica, esses elementos se comportam como idênticos do ponto de vista químico. Uma boa parte das substâncias elementares conhecidas são constituídas por misturas de isótopos naturais, decorrendo deste fato a existência de massas atômicas fracionárias resultantes da soma proporcional dos isótopos constituintes. Chama-se de isótopo radiotivo o isótopo de um elemento que por ter relação energia-massa instável em seu núcleo emite radiação corpuscular ou eletromagnética, transformando-se no primeiro caso em outro elemento. Os isótopos radioativos podem ser naturais, os que sempre existiram ou artificiais produzidos pelo bombardeamento do núcleo de elementos não radioativos por radiações estranhas. Todos os elementos com

número atômico superior a 82 são radioativos naturais, não possuindo isótopos estáveis. Alguns elementos leves como o potássio 40 e o rubídio 87 também possuem isótopos radioativos naturais. Qualquer elemento radioativo ao emitir uma radiação corpuscular transforma-se em outro elemento que poderá ser estável ou ainda radioativo. A emissão de uma partícula Alfa por um núcleo radioativo resultará na redução da massa atômica e do número de massa em 4 unidades, enquanto que o número atômico será reduzido em duas unidades:



Ao emitir uma partícula Beta o elemento se transforma em outro com o mesmo número de massa mas com número atômico uma unidade maior. Isto porque ao eliminar uma partícula Beta o núcleo ganha um próton e perde um nêutron:



Os elementos radioativos que emitem apenas raios Gama não sofrem a transformação em outro elemento já que a energia liberada provém apenas da redistribuição energética no interior do núcleo. Esses fenômenos que são conhecidos pela designação de "decaimento radioativo" obedecem no seu processamento a uma lei exponencial, de tal forma que sendo N_0 o número de átomos no início do processo, após um tempo t haverá um número de átomos N tal forma que N é igual a $N_0 \cdot \pi^t$, onde π é uma constante de cada elemento radioativo e t é o tempo necessário para que o número de átomos inicialmente considerado esteja reduzido à metade. Entre os elementos radioativos a "meia vida" varia entre extremos de milhares de anos e alguns segundos. Existem oito tipos de decaimento radioativo: por emissão de partícula Alfa, por emissão de partícula Beta negativa, por emissão de partícula Beta positiva, por captura de elétron também chamada captura K, por conversão interna, por emissão Gama, por emissão de nêutrons. As duas primeiras já foram apresentadas nas linhas anteriores. A emissão de um positron determinará a substituição de um próton por um nêutron, permanecendo constante o número de massa e diminuindo o número atômico de uma unidade. Átomos que possuem a mesma massa atômica e números atômicos diferentes são chamados de isóbaros. Na captura K um elétron da coroa geralmente da órbita K é assimilado pelo núcleo, seguindo-se a transforma-

ção de um próton em um neutron, de modo semelhante ao ocorrido na emissão Beta positivo. Ao preencher a vaga do elétron capturado um elétron mais externo, reduz seu nível de energia, que é assim liberada sob a forma de raio X. Na conversão interna, a energia do núcleo instável é transmitida a um elétron da coroa que escapa do átomo. O lugar vago é preenchido por outro elétron ocorrendo a emissão de raio X sem transformação do átomo, já que o número de prótons do núcleo permanece constante. Na transição isomérica e na emissão de raio Gama ocorre a produção pelo núcleo de raios Gama sem alteração da massa atômica ou do número atômico. A diferença está em que na transição isomérica o fenômeno ocorre em núcleo que sofreu prévia desintegração. A emissão de neutrons é um fenômeno raro que ocorre apenas em uns poucos átomos. O melhor conhecido é o bromo, $^{87}_{35}\text{Br}$. Ocorre inicialmente uma emissão Beta negativa que o transforma em $^{87}_{36}\text{Kr}$ e depois por uma emissão de um neutron a transformação para um átomo estável, o criptônio $^{86}_{36}\text{Kr}$.

Mede-se a intensidade da atividade radioativa numa unidade designada curie. A definição original dessa unidade, que foi estabelecida em 1910 para medida da atividade do radium se baseava na quantidade de radônio em equilíbrio com uma grama de radium. Verificou-se posteriormente que o curie assim conceituado correspondia a uma taxa de $3,7 \cdot 10^{10}$ desintegrações por segundo. O curie, portanto, aplicável para qualquer substância radioativa corresponde àquela intensidade de desintegração. Usam-se sub-múltiplos dessa unidade como o milicurie, $3,7 \cdot 10^7$, e o microcurie, $3,7 \cdot 10^4$.

BASES FÍSICAS E QUÍMICAS DA AÇÃO DAS RADIAÇÕES SOBRE O ORGANISMO VIVO

Os efeitos das radiações sobre os organismos decorrem da liberação de energia que eles carregam, no material vivo. Essa energia liberada dará origem a reações químicas das quais decorrem os efeitos biológicos. As moléculas, para reagirem entre si, necessitam do que se chama de energia-ativação. Em condições ordinárias essa energia depende da temperatura. Assim, a oxidação da celulose do papel se processa rapidamente se chegarmos uma chama ao papel. A energia térmica da chama confere maior energia de colisão entre as moléculas do papel e do oxigênio, resultando em combinações entre elas. Iniciada a reação, a energia liberada pela mesma ativará outras moléculas e a chama se propagará. Entretanto, em condições habituais de temperatura, o papel se oxida lentamente e disso decorre a cor amarelada, semelhante ao queimado,

que o papel velho apresenta. Segundo Schrodinger, na temperatura ambiente, uma reação que necessita 17 000 calorias por Mol pode ocorrer rapidamente, já que essa energia pode derivar de colisão térmica cada décimo de segundo. Se, entretanto, a energia de ativação necessária for de 9 000 calorias por Mol, a reação só se processará muito lentamente à temperatura ambiente, pois essa energia só é liberada por colisão térmica cada 16 meses.

Outra maneira de promover a energia de ativação consiste em transferir diretamente à coroa atômica, energia, a qual, por excitação ou ionização terá sua atividade química aumentada.

A absorção da energia das radiações pela matéria é um fenômeno quântico, de tal forma que o máximo de energia que pode ser absorvida de uma radiação por uma molécula é igual ao "quantum" de energia da radiação envolvida. De acordo com o comprimento de onda da energia radiante, entretanto, a energia absorvida poderá ser menor. Mede-se a energia de uma radiação ionizante com uma unidade especial designada eletron Volt. Em eletricidade a energia, capacidade de produzir trabalho, é expressa pelo produto da carga pelo potencial a que ela esteja submetida. Assim, se uma carga de 1 Coulomb estiver sujeita a um potencial de 1 volt teremos uma energia correspondente a 1 Joule:

$$E = Q \times V \qquad \text{Joule} = \text{Coulomb} \times \text{Volt}$$

O eletro Volt, eV, é a energia correspondente a uma carga eletrônica colocada num campo de potencial igual a 1 Volt.

As radiações fornecem "quanta" de energia que variam dos centésimos do eV, como o infra-vermelho, até milhões de eV, como os raios gama. A energia das radiações de comprimento de onda maior que o infra-vermelho é inferior à energia térmica das moléculas à temperatura ambiente. Nenhum efeito químico especial, e portanto biológico, pode-se esperar delas, resultando sua ação em aquecimento dos tecidos. A partir, entretanto, do ultra-violeta, energia quântica igual a 4,8 eV, a absorção de energia é bastante para provocar alterações do nível energético dos elétrons, excitação, ou mesmo a retirada de um elétron da coroa, ionização, o que intensifica extraordinariamente a atividade química do átomo que passará a reagir no seu meio, provocando assim os efeitos biológicos da radiação. Um paciente pode tolerar sem grande desconforto uma dose de radiação infra-vermelha que lhe aumente a temperatura do corpo de 1 grau centígrado. Entretanto uma dose

letal de raio X numa exposição de corpo inteiro, cerca de 600 r, é apenas capaz de elevar a temperatura corporal de 1 milésimo de grau centígrado.

INTERAÇÃO DAS RADIAÇÕES COM A MATÉRIA

Radiações corpusculares. A ação ionizante de uma partícula depende de sua carga e de sua velocidade. Quanto maior a carga e quanto menor a velocidade, maior será o efeito ionizador. A relação inversa com a velocidade decorre do tempo de exposição da partícula junto ao meio que atravessa. Chama-se transferência linear de energia, LET (Linear Energy Transfer) a energia cedida pela radiação por unidade de trajeto percorrido e mede-se em Kilo eletron Volt por micron, KeV/u. O LET é sempre maior quanto menor for a energia para cada tipo de radiação e é tanto maior quanto mais fortemente carregadas forem as partículas. Por exemplo: um eletron com energia de 1 MeV cede 0,25 KeV/u enquanto que um eletron de energia 0,001 MeV cede 12,3 KeV/u. Decorrem do conhecimento do LET duas informações. A primeira é a capacidade de penetração da radiação, que é tanto menor quanto menor for sua energia, já que por ceder maior quantidade de energia por unidade de trajeto linear ela se exaure rapidamente. A segunda é a quantidade de ions par que uma radiação pode produzir por unidade de trajeto, sabendo-se que cada ion par consome na sua formação 34 eV.

Partículas alfa. São partículas emitidas com pouca energia nas condições normais de radioatividade e de grande carga. São altamente ionizantes mas têm sua capacidade de penetração bastante reduzida, correspondendo a alguns centímetros no ar e a milésimos de centímetros no alumínio. Não atravessam as camadas superficiais da pele, mas quando ingeridas ou inaladas constituem grave risco.

Partículas beta. O trajeto das partículas beta dentro da matéria é fortemente desviado pela ação dos campos nucleares dos átomos. Elas perdem energia por colisão com os átomos, quando promovem ionização, e por desvios da sua trajetória quando ocorre a emissão de raio X. Estes raios X são designados de emissão Bremsstrahlung, e correspondem a uma fração de cerca de 1 milésimo da energia inicial da partícula beta, razão pela qual, a menos que a atividade radiotiva seja muito intensa não constitue maior perigo. A penetração das partículas beta varia conforme a sua energia, de 12 centímetros a 8 metros no ar e de 0,14 mm a 1 cm no tecido, nenhuma delas atravessando uma lâmina de chumbo de 1 mm de espessura.

Neutrons. Por não possuírem carga vão perdendo energia cinética nas colisões com os átomos da matéria, sem promover ionizações. Ao terem sua energia reduzida ao nível da energia térmica dos átomos, são capturados pelos núcleos dos átomos, criando condições artificiais de radioatividade e por esse mecanismo determinam ionização. Os neutrons têm grande capacidade de penetração que, entretanto, será sempre função da energia inicial da radiação. É curioso que os átomos mais leves têm maior capacidade de absorção de neutrons que os mais pesados, razão pela qual são os utilizados preferencialmente na absorção dessa radiação.

Radiações eletro-magnéticas. Os raios X são radiações de comprimento de onda entre 0,3 Angstrons (1 microm = 10.000 Angstrons) e 0,06 A°, com "quantum" de energia entre $40 \cdot 10^3$ e $200 \cdot 10^3$ eV, respectivamente. Os raios X são gerados em um tubo de raios catódicos que apresenta fundamentalmente uma fonte de elétrons representado por um filamento aquecido, efeito termo-iônico, e um campo elétrico de elevado potencial que funciona como acelerador dos elétrons. O elétron acelerado é atirado sobre um alvo constituído de um metal pesado, tungstênio, por exemplo, onde o impacto provoca distúrbio nos níveis energéticos dos elétrons da coroa atômica, que ao regredirem aos níveis de estabilidade emitem uma onda eletro-magnética de grande frequência e grande energia quântica. A quantidade de radiação produzida será função do número de elétrons que se chocarem com o alvo e está, portanto, na dependência do aquecimento do filamento, o que é regulado pela corrente, *miliampéragem do aparelho*. A energia dos raios produzidos (quântica) dependerá da violência do impacto dos elétrons no alvo de tungstênio e é regulado pelo potencial do campo elétrico do tubo expresso na *kilovoltagem do aparelho*. A penetração dos raios X varia de 120 metros a 400 metros no ar respectivamente para um aparelho utilizado em diagnóstico e para um aparelho de alta voltagem utilizado em terapêutica. A energia dos raios X nas duas condições apresentadas será respectivamente de 90 KeV e 2 MeV. A penetração nos tecidos, desses mesmos raios irá de 15 cm a 50 cm e no chumbo de 0,3 mm a 30 mm. Os raios gama são os que se produzem no núcleo dos átomos radioativos por alteração energética a esse nível. Sua energia é da ordem dos MeV e possuem comprimento de onda menor que a maior parte dos raios X utilizados na prática. São mais penetrantes, portanto, que eles. Modernamente, entretanto, o uso de aceleradores lineares de partículas permitem obter raio X de energia igual ou superior aos raios gama. Utilizam-se como fontes de raios gama, para fins terapêuticos, o rádio e o cobalto 60, conhecido como bomba de cobalto.

Os raios X e gama exercem sua função ionizante através de três mecanismos principais:

1 — *Efeito foto-elétrico*. O quantum de energia é absorvido totalmente pelo átomo irradiado que emite um elétron. Esse elétron é que promove a ação ionizadora.

2 — *Efeito Comptom*. O quantum de energia absorvida determina a emissão de 1 elétron e de uma radiação eletromagnética de menor frequência e menor energia.

3 — *Produção de par iônico*. Quando a energia quântica da radiação incidente for superior a 1,02 MeV sua absorção será total e haverá emissão por parte do átomo de 2 elétrons. Os elétrons emitidos em qualquer das circunstâncias caminharão dentro da matéria produzindo novas ionizações e elétrons secundários que por sua vez produzirão outras ionizações, sendo que, como a energia desses elétrons é progressivamente diminuída, sua capacidade ionizadora é crescente.

DOSAGEM DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

As radiações ionizantes são dosadas indiretamente através dos efeitos da sua interação com a matéria, especialmente pela capacidade que tem de promover ionização. Deve-se distinguir desde logo duas dosagens, a dose de exposição e a dose absorvida, pois que a absorção de uma radiação dependerá de características da radiação e também da matéria que a absorva. Para a medida da exposição utiliza-se como unidade o Röentgen, ou simplesmente r , que é definido como a quantidade de radiação X ou gama que a emissão corpuscular associada, em 0.001293 gramas de ar, produz ions portadores de uma unidade eletrostática de carga de cada sinal. Pode-se entender o r como a energia fornecida ao ar em condições normais de temperatura e pressão no volume de 1 milímetro. Como se vê também o Röentgen, embora seja usada como unidade de dose de exposição também é, na realidade, unidade de absorção. Entretanto, para uniformizar a avaliação criou-se uma unidade especial para radiação absorvida, que é o Rad, abreviação da expressão inglesa "radiation absorbed dose". O Rad é definido como uma quantidade de radiação que determina a absorção de 100 ergs de energia. É aplicável a qualquer tipo de radiação, e não somente às radiações X e gama. A correspondência entre essas duas unidades tem que ser feita na dependência do material absorvedor. Assim, um Röentgen de radiação X ou gama cede a uma grama de ar 83 ergs de energia, enquanto que a uma grama de água ou de tecido cede 93 ergs. Na prática da aplicação de radiações ao homem utilizam-se manequins de

cêra ou de bolsas de água, nos quais se medem as doses absorvidas em várias situações, construindo-se com isto curvas de isodose que são utilizadas para quantificar a aplicação no homem. Ocorre, entretanto, que os efeitos biológicos, e particularmente no homem, de 1 Rad de energia absorvida, não são iguais para todas as radiações empregadas, surgindo a necessidade da criação de uma nova unidade que permita uniformizar os efeitos das várias radiações eventualmente aplicadas. Essa unidade surgiu do conceito do efeito relativo das radiações, R.B.E., abreviação da expressão inglesa "relative biological effectiveness", que compara os efeitos de uma radiação qualquer com os produzidos pelo raio X gerado em um aparelho de 200 kilovolts de potencial destinado a radioterapia. Esta unidade é conhecida como Rem (Rad Equivalent Man). Um Rem corresponde a um Rad de um aparelho de 200 kilovolts. Para os raios X, os raios gama e as partículas beta um Rad é igual a 1 Rem. Para as partículas alfa 1 Rad chega a corresponder até a 10 Rems e para neutrons rápidos essa correspondência pode atingir até a 100.

EFEITOS BIOLÓGICOS DAS RADIAÇÕES IONIZANTES

Os conhecimentos atuais decorrem da experimentação animal, especialmente de insetos, como as drosófilas, ovos de insetos, micro-organismo, e em pequenos mamíferos, camundongos.

Decorrem também da observação clínica. Já foi citado o caso dos desenhistas de mostradores luminosos. Certas atividades profissionais, como mineiros de urânio, também revelaram, sob a forma de grande incidência de câncer do pulmão, os efeitos nocivos do gás inalado nessas minas (Radônio). Nos radiologistas do passado, além das lesões específicas que manifestavam, estudos estatísticos mostraram neles uma redução da longevidade em comparação com grupos médicos que não lidaram com radiações. Foi também demonstrada menor vitalidade de seus descendentes. As explosões nucleares recentes com fins bélicos, permitiram também o estudo, no homem, das conseqüências imediatas e tardias da exposição a radiações.

Todos os tipos de radiações, eletromagnéticas ou corpusculares, determinam o mesmo tipo de lesão, que embora sejam até certo ponto características das radiações, não o são, entretanto, específicas, podendo ser produzidas por outros agentes — físicos, químicos e biológicos.

Existem duas teorias gerais que pretendem explicar os efeitos das radiações sobre o organismo.

A primeira é a do envenenamento, que acredita que a ação irradiante produz produtos tóxicos por desdobramento de moléculas componentes da célula, especialmente certas cininas, decorrente do desdobramento de proteínas.

A segunda que é a do alvo, afirma que as radiações produzem seus efeitos por alterarem pequenos volumes celulares e orgânicos de grande sensibilidade e importância na vida.

A segunda teoria parece encontrar mais apoio experimental no estudo das curvas dose-sobrevivência, de ovos de inseto, por exemplo.

Os efeitos das radiações sobre os organismos são divididos em dois grupos: Genéticos e Somáticos.

Genéticos. Decorrem das mutações que produzem.

Embora toda a evolução se processe em termos de mutações, e elas ocorram na natureza em um certo número, e que também as mutações rádio-induzidas não difiram essencialmente das espontâneas, é fora de dúvida que as radiações induzem numa frequência anormal o processo mutante. Agrava este fato, a circunstância da moderna medicina permitir a sobrevivência de mutantes inadaptados que assim viriam a diminuir a qualidade do patrimônio hereditário da humanidade.

Manifestações celulares. Quimicamente parecem ser as moléculas menores e especialmente os ions os que primariamente são ativados pelas radiações. Assim o ion OH oxidante e o ion H⁺ redutor seriam os intermediários das radiações sobre as moléculas maiores especialmente a proteica no curso das ações celulares das radiações. Várias combinações desses ions, entre os quais o peróxido de hidrogênio (água oxigenada) seriam os agentes químicos imediatos do efeito irradiante. Através deles, moléculas maiores, proteínas especialmente e enzimas, seriam alteradas, inativadas, desnaturadas, cindidas, produzindo-se produtos tóxicos como a histamina e a serotonina, de cuja ação poderia decorrer o aspecto de toxemia grave das exposições maciças. Em relação ao material cromático do núcleo, fragmentação anormal dos cromosomas, com fusão de segmentos desempareirados, enrijecimento de cromosomas que não se dividiriam, e outras alterações levariam a distúrbios da reprodução celular, com picnose nuclear e morte das células. Que o efeito das radiações está ligado à intensidade reprodutiva dos tecidos já em 1906 era conhecido sob a chamada lei de Bergonie e Tribondeau. Os tecidos imaturos ou de grande atividade reprodutiva, como o hematopoiético, a pele e a mucosa gastro-intestinal são os mais sensíveis à ação da radiação. Isso se explica em função do

grande efeito das radiações sobre o material cromosômico envolvido no processo reprodutivo.

Tecido hematopoiético. São especialmente os eritrócitos e mielócitos os atingidos. Experiências em rato mostraram que após uma exposição de 600 r os eritrócitos desaparecem em 14 horas e os mielócitos em 2 dias, ocorrendo a recuperação da eritropoiese em 14 dias e da mielocitopoiese em 30 dias. O tecido retículo-endotelial, ancestral comum dos dois é, entretanto, resistente, o que leva a crer que a ação ocorre no curso da maturação do sangue. O tecido linfático do baço e do timo também é sensível, desaparecendo os linfócitos entre 1 e 8 horas e regenerando-se na dependência da dose entre 5 e 10 dias. A lesão do tecido linfático já é evidente com cerca de 25 r.

Trato gastro-intestinal. Por serem as manifestações da doença da radiação predominantemente no aparelho digestivo, imaginou-se que a lesão do tubo gastro-intestinal fosse intensa. Tal lesão ocorre em parte, e em parte a sintomatologia decorre dela, mas a recuperação do tubo digestivo é rápida, a ponto de não existir na necrópsia dos casos fatais lesão grave nesse setor. A ação principal parece se desenvolver nas células das pregas gastro-intestinais, que possuem intensa atividade reprodutora.

Pele. Depende da dose e da penetração da radiação, agindo fundamentalmente na camada germinativa da epiderme e no tecido conectivo subjacente.

Outros tecidos. Os tecidos estáveis são considerados mais resistentes às radiações, o que entretanto não impede que por vezes sejam atingidos. O pulmão tem sido sede de processos tumorais em condições de inalação de gases radioativos. Os ossos que recebem através do metabolismo mineral isótopos radioativos, também desenvolvem alterações neoplásicas. Têm-se demonstrado também a ação direta das radiações sobre o sistema nervoso central.

Influência da dose de exposição. As manifestações objetivas não costumam ocorrer com doses menores que 20 Rads. Entretanto, pode-se demonstrar lesão, em experiências com doses inferiores a 20 Rads. Quando a dose ultrapassa esse valor até cerca de 100 Rads, 15% dos indivíduos já manifestam a "doença da irradiação": náuseas, vômitos, mal estar, sintomas locais como eritema. No dia seguinte, depressão medular, com queda da série branca e depilação local. A maioria dos indivíduos se recuperará mas podem surgir efeitos tardios, como leucemia e cancerização do local irradiado. Acima de 500 r ocorre o óbito em 50% dos indivíduos. Numa exposição a esta dose ocorre uma fase imediata caracterizada por toxemia intensa, vômitos, diarreia, febre, delírio, exaustão e

morte. Nos que sobrevivem, segue intensa depressão medular com hemorragias cutâneo-mucosas e acentuada tendência à infecção. Aos sobreviventes podem ocorrer efeitos tardios como leucemia, tumores e catarata.

Extensão da exposição. A exposição de corpo inteiro é muito mais séria que a exposição regional. Enquanto 500 r é dose letal para 50% dos indivíduos expostos em exposição de corpo inteiro, podem ser usadas regionalmente milhares de Rads para fins terapêuticos no período de poucas semanas sem maiores problemas. A gravidade da exposição regional dependerá dos tecidos atingidos por ela. Um índice importante é o quadro sangüíneo, já que o efeito decorre da ação da radiação sobre o órgão hematopoiético e não sobre o elemento circulante. Dos elementos figurados do sangue o mais útil como índice é o linfocito, por ter uma sobrevida muito curta, o que determina a evidência da irradiação dos órgãos linfocitopoiéticos em poucas horas. Seguem-se em dias, as plaquetas, enquanto que as hemácias só começam a sofrer redução após uma semana.

Modificação da resposta à irradiação. A ação da radiação pode ser diferente em função de certas substâncias ou condições. No conjunto é o que se chama de agentes protetores. São as seguintes as circunstâncias e substâncias que aumentam a resistência do organismo à radiação:

Menor conteúdo de água — Os tecidos menos hidratados e sementes secas resistem mais às radiações. O aumento do tensão de O₂ aumenta a sensibilidade dos tecidos às radiações.

Radicais sulfidrila. S.H. — As substâncias que formam radicais sulfidrila protegem as células contra os efeitos das radiações.

Dose máxima permitida. A Comissão Internacional de Proteção Contra a Radiação (International Commission On Radiological Protection-ICRP), bem como o Comitê Americano que cuida do mesmo assunto (National Committee on Radiation Protection-N.C.R.P.) estabeleceram inicialmente o conceito de dose de tolerância. Seria aquela dose abaixo da qual as radiações não seriam lesivas. Os primeiros valores foram apresentados por volta de 1936, e por muitos conceitos e valores serviram de base na Higiene das radiações. Posteriormente à 2.^a Guerra Mundial, entretanto, os conceitos e os valores foram revistos.

Especialmente por razões genéticas, o conceito de dose de tolerância mudou para o de dose máxima permissível, baseada na tese de que qualquer dose de radiação é potencialmente lesiva e que cumpre manter as exposições dentro dos menores valores possíveis. Para exposição ocupacional,

que nos ocupa, são as seguintes as doses máximas permisíveis:

- 100 milirem por semana
- 3 rem por 13 semanas
- 5 rem por ano

Para qualquer indivíduo com mais de 18 anos a dose total a qualquer tempo, máxima permissível, pode ser calculada pela fórmula $D = 5 (N - 18) \text{ rem}$, onde N é a idade do indivíduo em causa.

Dose de emergência. Em caso de emergência pode uma pessoa receber dose de até 12 rem. Essa dose deve ser compensada com a redução da exposição posterior de modo que nos próximos 5 anos a dose recebida não ultrapasse a 25 rem. Excluem-se dessa dose as mulheres em fase reprodutiva.

Dose acidente. Só pode ocorrer uma vez na vida e é de 25 rem. A pessoa à qual aconteceu tal exposição deve ser afastada do trabalho com radiações.

PROTEÇÃO CONTRA AS RADIAÇÕES IONIZANTES

Princípios gerais: Estão na dependência da fonte geradora da radiação e da técnica de aplicação das mesmas. Para os aparelhos de raios X, tanto em uso diagnóstico como em uso terapêutico, temos que considerar três aspectos deste tipo de radiação contra os quais cumpre se proteger:

1 — O feixe principal de raios que se destina ao uso do aparelho.

2 — A radiação dispersa pela interação dos raios principais sobre a matéria da vizinhança — radiações secundárias e terciária (scattered radiation).

3 — perdas pela blindagem do aparelho gerador.

De um modo geral os aparelhos apresentam uma pequena janela para passagem do feixe principal de raios, porém como a fonte geradora de raios é bastante próxima dessa abertura esse feixe será emitido em um ângulo ainda bastante aberto, permitindo que uma superfície maior que a que se propõe irradiar, seja atingida pela radiação. O uso de filtros, chamados colimadores, permite restringir o ângulo de feixe principal, reduzindo a superfície irradiada às dimensões do objeto da irradiação e impedindo que pessoas que se encontrem nas vizinhanças desse objeto recebam parte da radiação principal. Obviamente é cuidado essencial da proteção dos operadores e demais pessoas envolvidas no uso desses aparelhos, o de se retirar da direção do feixe principal de raios e das vizinhanças do objeto irradiado.

As radiações dispersas decorrem da interação dos raios X com a matéria que circunda o feixe principal de raios. Ela ocorre através de dois mecanismos. O primeiro, que é a difração dos raios X quando os átomos da matéria irradiada, excitados pela energia absorvida passam a emitir uma radiação idêntica à que absorveram, sem outra alteração que a da direção dos raios incidentes. O segundo mecanismo é representado pelo efeito Compton, que consiste na emissão, por parte do átomo irradiado, de um elétron e de uma onda eletromagnética de comprimento de onda diferente da incidente. De qualquer forma, essas radiações secundárias terão direções as mais variadas e constituem o principal perigo em termos de proteção contra os raios X. Essa proteção será baseada essencialmente em diminuir o ângulo do feixe principal, com o que se reduz também o ângulo das radiações secundárias e o que diminui também a intensidade das radiações que ultrapassam o objeto irradiado. Normalmente, se se considerar como I a intensidade dos raios no feixe principal, o que ultrapassa o objeto irradiado terá uma intensidade I_0 , sendo que I_c será menor, igual ou maior do que I , decorrendo as duas últimas possibilidades da radiação secundária formada pela interação dos raios de feixe principal com a matéria encontrada no seu trajeto.

Outra medida de proteção consiste no revestimento com lâminas de chumbo, das vizinhanças tanto próximas como remotas, que se destinam à absorção das radiações dispersas. Para o pessoal que participa da aplicação dos raios X essa proteção é representada por aventais, luvas e outras proteções confeccionadas com lâminas de chumbo.

Outro princípio de proteção consiste em se afastar o mais possível da fonte geradora da radiação, já que a intensidade dos raios é inversamente proporcional ao quadrado da distância por eles percorrida. Modernamente, em centros adiantados, todas as operações são feitas por controle remoto, em compartimentos com isolação adequada por chumbo e concreto. O uso do Porter Book, embora não se destine originalmente à proteção do pessoal que lida com raio X e sim objetiva impedir que as radiações secundárias, geradas no próprio organismo radiografado, borrem a radiografia, constituem uma proteção adicional. Consiste em uma grade formada por tiras de chumbo e de madeira intercaladas, que oscila ao ser deflagrada a exposição, absorvendo no chumbo as radiações secundárias formadas pela interação do raio principal com o organismo radiografado.

Ao lado desses dispositivos propriamente protetores, o progresso na fabricação de filmes especialmente sensíveis, com reforçadores luminescentes da imagem, constituídos por

substâncias como tungstato de cálcio e que permitem a utilização de exposições de menor intensidade para fins de radiodiagnóstico constituem também uma valiosa medida protetora.

No que toca à radioscopia os cuidados de proteção com indumentária isolante são particularmente necessários em virtude da grande dose de exposição a que ficam sujeitos os indivíduos que participam da sua aplicação.

No que toca ao uso dos raios gama em unidades fixas para terapêutica, como as que utilizam o radium e o cobalto, os fenômenos e também os cuidados são em tudo semelhantes aos descritos para os aparelhos de raios X. Aqui, como também nos aparelhos de raios X, um certo escape através da blindagem deve ser levado em consideração, com agravante que no caso dos raios gama esse escape é contínuo. O escape através da blindagem pode ser estendido pelo caráter exponencial da curva de absorção dessas radiações, o que determina que ela nunca seja completa. A blindagem desses dispositivos está regulada por normas internacionais que limitam a um mínimo o risco decorrente.

Para fontes móveis de radiação gama, como as agulhas de radium, deve-se levar em consideração no que toca à proteção dos manipuladores, três cuidados básicos. O material radioativo contido nesses dispositivos apresentam radiações corpusculares alfa e beta, que são contidas pelo invólucro de prata. Apenas a radiação gama, formada no processo da radioatividade é que é utilizada para fins terapêuticos, e essas se propagam num ângulo sólido, atingindo assim toda a vizinhança. Daí decorrem os três cuidados básicos da proteção dos manipuladores e demais pessoas ligadas à sua aplicação. O primeiro deles é o uso da distância, o que se consegue com pinças e dispositivos que permitem manter afastado o material em uso, objetivando atenuar a exposição do manipulador.

O segundo cuidado é reduzir pela habilidade no manejo o tempo de exposição. E finalmente, o uso de blindagens especiais que deverão ser dispostas para proteger o pessoal envolvido na operação.

É muito importante na proteção individual contra as radiações, a monitoragem de cada indivíduo, a fim de manter as doses a que se submete dentro dos limites estabelecidos pela Organização Internacional como doses máximas permisíveis. Dos vários processos utilizados com esse propósito, um dos mais expeditos é o do uso de chapas fotográficas. Esses filmes podem ser utilizados para avaliação da exposição de corpo inteiro, quando se colocam uma região de grande massa corpórea, geralmente o tórax, ou para avaliação de exposição

regional, quando são colocados nos punhos, nos dedos, etc. Um problema que surge com os filmes é que eles são mais sensíveis a radiações de pequena energia, sendo atravessados sem grande velamento por radiações de grande energia. Para superar esse inconveniente montam-se os filmes em suportes que apresentam filtros parciais de cobre e chumbo que dividem assim a área da chapa fotográfica em regiões onde serão detectadas as várias radiações de acordo com a energia própria de cada um. A avaliação da exposição sofrida é feita por comparação com filmes submetidos a radiações de intensidades conhecidas. Outro recurso para monitoragem individual consiste no uso de pequenas câmaras de ionização, que são portadas pelo pessoal que está exposto profissionalmente às radiações. Basicamente, essas câmaras são condensadores que têm por dielétrico um gás, geralmente o argônio. Carregam-se esses condensadores num aparelho especial — eletrômetro — que serve também para medir a qualquer tempo a carga que eles apresentem. Ao serem expostas essas câmaras de ionização, a uma radiação ionizante, o gás que serve de dielétrico será ionizado em função da intensidade da radiação e essa ionização determinará uma descarga proporcional da câmara de ionização. A utilização de uma escala especialmente construída permite transformar a descarga ocorrida em dose de exposição. Semelhante a essas câmaras, e usado com o mesmo propósito, é o eletroscópio de folhas de quartzo. Ao ser carregado, esse eletroscópio terá suas folhas numa posição de afastamento máximo, e à medida que a ionização provocada pela radiação incidente, descarregar o eletroscópio, as folhas de quartzo irão se aproximando. Com a utilização de uma escala especial montada no próprio dispositivo, pode-se correlacionar a descarga com a dose de exposição. O conjunto todo é construído na forma de uma caneta tinteiro, que como tal, pode ser carregada junto ao tórax.

A medida das radiações no ambiente onde ocorre o emprego das radiações ionizantes também é fundamental na proteção das pessoas que lidam com essas radiações, bem como na proteção de outras pessoas que circulem pelas vizinhanças. São dois os principais processos de detecção das radiações nessas circunstâncias: o uso da ionização e o uso da cintilação produzida em material luminescente pelas radiações ionizantes. O detector mais comumente utilizado é o contador de Geyger Muller, ou simplesmente Geyger. Tal qual a câmara de ionização, consiste em um condensador que é mantido carregado por um potencial gerado num circuito externo. As duas armaduras do condensador, ou eletrodos do sistema, são representados pelo envoltório externo cilíndrico que representa o cátodo, e por um fio fino central que repre-

sentado o anodo. Entre eles existe um gás rarefeito, geralmente o argônio. A diferença de potencial entre os eletrodos ou armaduras é de cerca de 1000 volts. Quando uma radiação produz uma ionização independentemente da intensidade dessa ionização o par iônico é acelerado pelo campo elétrico e vai, através das colisões com os átomos do gás, produzindo ionizações secundárias, as quais também aceleradas promoverão novas ionizações, constituindo no conjunto um fenômeno em cascata que determinará sempre uma descarga em pulso do circuito externo de intensidade constante. A diferença da câmara de ionização em relação ao contador de Geyger é que naquela, por ser o potencial pequeno, não ocorre ionização secundária, e os íons primários nem sempre se formam em quantidade suficiente para promover uma descarga instantânea. Assim, enquanto o contador de Geyger acusa por seus pulsos qualquer ionização primária, e portanto qualquer radiação incidente independente da sua intensidade, a câmara de ionização pela soma das ionizações primárias ocorridas indica a incidência de radiações durante um determinado período.

SUMMARY

RADIATION AND THE ANESTHESIOLOGIST EFFECTS AND PROTECTIVE MEASURES

Attention is drawn to the importance of the problem. A short review of the history of the discovery of radiation and its uses in medicine and biology is given. The theoretical aspects of radiation physical chemistry and its effects on living organisms is presented. Protective measures for those exposed to radiation are described.

REFERÊNCIAS

1. de Eston V R, de Eston T, Bitelli T, Kida S & Carvalho N — Noções gerais sobre o emprego de radioisótopos em medicina e biologia. *Rev Med* 46:141, 1962.
2. Hill D W — *Electronic Technics in Anaesthesia*, 2nd edition, Butterworths, London, 1973.
3. Hill D W — *Physics Applied to Anaesthesia*, Butterworths, London, 1967.
4. Huges H H — *Fundamentals of Radiation Protection*, Interscience, New York, 1969.
5. Lamerton L F — *The Biological Effects of Radiation*. Em *Künstliche radioaktive isotope in physiologie diagnostik und therapie*, Springer-Verlag, Berlin, 1953.
6. Little J B & Radford Jr E P — Effects of ionizing radiation and their importance in anesthesiology. *Anesthesiology* 25:479, 1964.
7. Pieroni R R — *Metodologia y aplicaciones clinicas de los radioisotopos*. Instituto de Energia Atômica, São Paulo, 1959.
8. Rees D J — *Health Physics*, Butterworths, London, 1967.