

c) Chumbo

Metal de alta densidade utilizado para atenuação do feixe de radiação. Seu ponto de fusão elevado (327° C), torna sua utilização mais complicada no dia-a-dia de um serviço de radioterapia. Devido à alta densidade, a espessura de 5 HVL de uma proteção de chumbo é de 5 cm, e portanto menor do que a necessária quando da utilização do "alloy". Lâminas mais finas, devido a sua maleabilidade, são mais fáceis de ser utilizadas como proteções para feixe de elétrons, pois não precisam ser derretidas. As figuras 6 e 7 mostram proteções de chumbo confeccionadas para tratamento com elétrons de um tumor de lábio inferior.



Figura 6 – Chumbo sendo cortado



Figura 7 – Chumbo para proteção de corpos alveolares

d) Isopor

Material polímero utilizado para confecção das proteções com "alloy". Funciona como moldura para a liga metálica liquefeita. Este material é depositado em recipiente de isopor até que, com o resfriamento, se solidifique. A

facilidade no corte do isopor através de um fio metálico aquecido implica em agilidade na confecção das proteções. Existem equipamentos específicos para a confecção desse bloco, mostrado na figura 8.



Figura 8 – Bloco de isopor

e) Gesso

Material para fazer moldes negativos para confecção de acessórios padronizados como máscaras, suporte de bolus, etc... Para sua utilização basta misturar o material disponibilizado comercialmente em forma de pó ou ataduras com água, moldá-lo e esperar secar. Pode ser utilizado também como matéria prima básica do acessório a ser construído. A figura 9 mostra um recipiente com gesso em pó e a figura 10 um suporte para tratamento de crânio neuroeixo confeccionado com gesso e isopor.



Figura 9 – Gesso em pó



Figura 10 – Suporte para tratamento de crânio neuroeixo em gesso e isopor

f) Acrílico

Material utilizado para fazer máscaras de imobilização que vem sendo substituído pelas telas termoplásticas. A confecção de máscaras com acrílico é um processo demorado, relativamente complexo e trabalhoso.

g) Telas Termoplásticas

Material polímero que possui a propriedade de amolecimento quando aquecido e assume novamente a rigidez tão logo resfriado. É disponibilizado comercialmente em forma de placas com moldura plástica de suporte. Tem seu uso crescente em radioterapia na confecção de máscaras e suportes de imobilização. Seu processo de confecção será abordado mais adiante no capítulo.

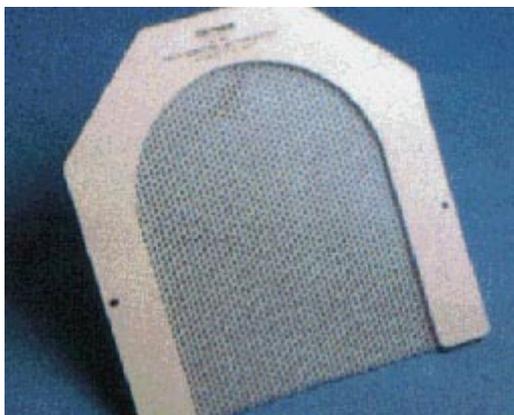


Figura 11 – Frame termoplástico para cabeça e pescoço

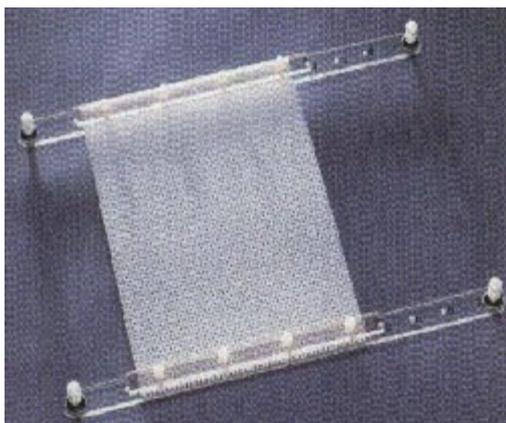


Figura 12 – Frame termoplástico para mama

Equipamentos

Existem equipamentos essenciais para o funcionamento de uma oficina de radioterapia e outros que agilizam sua rotina e imprimem qualidade aos acessórios confeccionados. São alguns desses equipamentos:

a) Cortador de Isopor

O equipamento consiste em uma base luminosa onde é posicionado o portal de planejamento com as proteções desenhadas. Em uma estrutura superior fica um suporte para colocação de uma placa de isopor com a espessura correspondente ao HVL do material da proteção a ser utilizado (ex.: 7 cm para "alloy"). Uma haste metálica fixa a um eixo central possui um fio fino, também metálico, ligado a um sistema elétrico para aquecimento. Esse fio vai cortar o isopor conforme a divergência do feixe de radiação. Nesse equipamento é fundamental o conhecimento da distância da bandeja e da fonte de radiação, pois disso depende a divergência. No final desse capítulo serão abordados aspectos de divergência e magnificação. A figura 13 apresenta um cortador de isopor com filme posicionado, (observe o padrão de divergência da haste metálica).



Figura 13 – Cortador de isopor

b) Máquina para derreter "alloy"

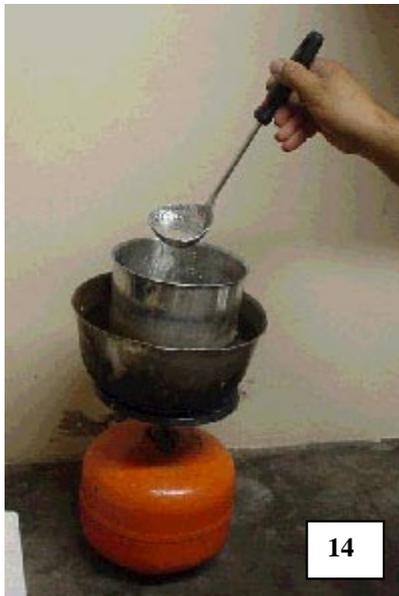
Este equipamento é uma sofisticação do processo metalúrgico de derreter a liga de "alloy" em cadinhos ou panelas. Consiste em um recipiente equipado com resistência elétrica que derrete e mantém o "alloy" em seu estado líquido. Anexada a este recipiente está uma torneira, também equipada com resistência elétrica, por onde sai o "alloy" para preencher as molduras de isopor confeccionadas para proteções. A base desta mesa é refrigerada para promover um resfriamento mais rápido do bloco. As figuras 14 a 16 apresentam o "alloy" sólido sendo derretido e depois depositado em moldura de isopor previamente cortada no equipamento anteriormente descrito. Já na figura 17 visualizamos uma máquina para "alloy" também preenchendo uma moldura de isopor.



Figura 17 – Máquina de "alloy"

c) Bandeja para aquecimento de máscaras

Consiste em um equipamento com resistência elétrica que mantém a água aquecida para confecção das máscaras termoplásticas. Alternativas podem ser utilizadas sem prejuízo da qualidade e sem maiores custos de aquisição do equipamento. Uma bacia metálica com água quente ou mesmo uma pia fechada e cheia de água quente podem funcionar da mesma maneira. A figura 18 mostra uma bandeja elétrica para aquecimento de máscaras, e as figuras 19 e 20 apresentam alternativas ao seu uso.



14



15



16

Figuras 14, 15 e 16 – Processo de derretimento do "alloy" e confecção do bloco de proteção



Figura 18 – Bandeja elétrica para aquecimento de máscaras



Figura 19 – Bacia sendo preenchida por água quente



Figura 20 – Pia com água quente



Figura 22- Máquina de vácuo

d) Cortador de blocos para elétrons

É um equipamento para cortar o isopor que servirá de moldura para confecção do bloco de "alloy" específico para elétrons, que não necessita de grande espessura devido às propriedades específicas dessa energia. O princípio é o mesmo do cortador de isopor convencional onde um fio metálico aquecido corta o isopor. A figura 21 apresenta um técnico utilizando equipamento do tipo para cortar uma proteção.



Figura 21- Cortador de elétrons

e) Máquina de vácuo para máscaras acrílicas

É uma máquina que funciona fazendo vácuo sobre molde de gesso em negativo e moldando contornos em placa acrílica devidamente aquecida. Seu uso vem caindo devido ao processo rápido e confiável das máscaras termoplásticas. A figura 22 apresenta um equipamento deste tipo, onde o orifício central é o local onde se coloca o molde negativo de gesso, sobre o qual é posicionada a placa acrílica.

Exemplos de Atividades na Oficina

Esta seção abordará algumas das atividades do técnico em uma oficina de radioterapia, utilizando os materiais e os equipamentos descritos anteriormente.

a) Confeção de máscara termoplástica

1. O paciente é posicionado ou na oficina ou no simulador de forma confortável e de acordo com as necessidades do tratamento, utilizando ou não outros acessórios específicos.

2. A água deve estar aquecida no caso da utilização de alternativas à bandeja de aquecimento elétrico.

3. Escolher a máscara de acordo com a área a ser imobilizada (ex.: cabeça e pescoço, mama, pelve, etc...).

4. Colocar a moldura da máscara na água até observar amolecimento da mesma. Não há tempo ideal, mesmo porque este depende da temperatura da água. Apesar disto o processo é bem rápido.

5. Retirar a máscara da bandeja (tomar cuidado para não se queimar).

6. Escorrer o excesso de água e esperar que a temperatura da máscara torne-se tolerável pelo paciente (cuidado para não queimar o paciente).

7. Repousar a máscara na área a ser imobilizada moldando os contornos do paciente, e fixá-la ao suporte anexo.

8. Esperar a secagem e o endurecimento da mesma.

As figuras 23 a 26 exemplificam a confecção de uma máscara em paciente para tratamento de cabeça e pescoço.



Figura 23 – Máscara termoplástica rígida



Figura 24 – Máscara termoplástica em água quente



Figura 25 – Máscara termoplástica amolecida



Figura 26 – Posicionamento da máscara sobre o paciente

b) Confeção de bloco de proteção

Para o entendimento integral deste processo são necessários conhecimentos de magnificação e divergência abordados a seguir:

• **Divergência / Magnificação**

As dimensões das imagens registradas em uma radiografia variam com a distância em que o filme é colocado da fonte de radiação. As dimensões no filme vão ser sempre maiores que as do paciente pelo simples fato de que a distância entre a fonte e o chassi vai ser sempre superior à distância da fonte ao paciente. Esta magnificação depende de diversos fatores, como a geometria do feixe, distância do paciente, e distância do filme que registra a imagem. Para melhor compreensão, devemos comparar o feixe de radiação com um feixe de luz. A divergência do feixe é diretamente proporcional à distância do foco luminoso. Por exemplo, considere um foco luminoso que a 50 cm da lâmpada possui 20 cm de diâmetro. Se a distância da lâmpada for aumentada para 100 cm, este diâmetro será magnificado para 40 cm. O cálculo é baseado em regra de três simples.

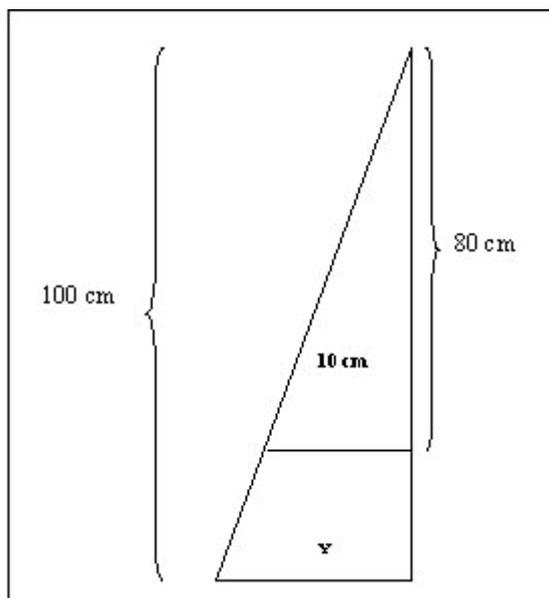


Figura 27 – Representação gráfica de um problema de magnificação

Como em radioterapia raciocinamos sempre em função de campo de tratamento, fazemos uma comparação. Qual seria o tamanho de um campo de irradiação 10 x 10 na distância (SSD) 80 cm, quando esta distância passou a ser 100 cm? (figura 27)

$$\begin{array}{l} \text{Tamanho do campo no SSD1} = \text{SSD1} \\ \text{Tamanho do campo no SSD 2} = \text{SSD2} \end{array} \quad \frac{10}{x} = \frac{80}{100} \quad x = \frac{10 \times 100}{80}$$

Resposta : $x = 12,5$ logo o campo vai ser $12,5 \times 12,5$ cm

São etapas da confecção dos blocos de proteção.

1. O médico encaminha o filme para oficina com proteções desenhadas e informações da distância fonte filme e do aparelho de tratamento.
2. O técnico consulta a distância da bandeja do aparelho escolhido e posiciona um bloco de isopor com a espessura compatível à necessária pelo material a ser utilizado como atenuador no suporte de isopor do seu cortador.
3. O filme é posicionado e fixado na base luminosa, com o centro do campo alinhado ao centro da mesa.
4. O técnico acompanha a borda da proteção com o braço metálico, acionando a corrente elétrica para aquecer o fio e cortar o isopor.
5. É retirado o "miolo" do isopor cortado para que este assumira a forma de uma moldura. Eventualmente é necessária a fixação das bordas dessa moldura com fita adesiva para maior segurança para o preenchimento com "alloy".
6. Aquecimento do "alloy" em cadinho, panela ou máquina de "alloy".
7. Preenchimento da moldura com "alloy". No caso de proteções para campos oblíquos ou laterais, na ausência de fita adesiva especial (para fixação destas proteções à bandeja) pode-se colocar parafusos metálicos para fixação antes do resfriamento total do "alloy".
8. Secagem e endurecimento do bloco.
9. Retirada da moldura de isopor.
10. Limagem das bordas da proteção.

Encaminhamento da proteção ao aparelho para realização de "check film".

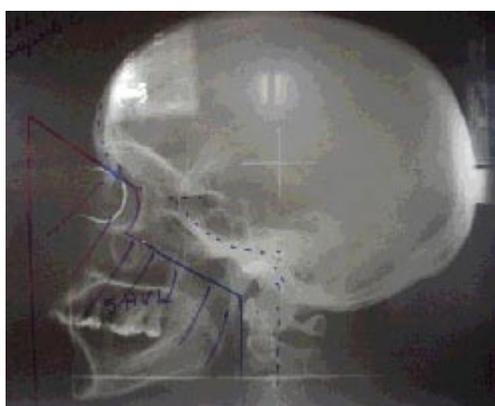


Figura 28 – "Portal film"



Figura 29 – Técnico cortando isopor conforme desenho no filme



Figura 30 – Isopor no suporte sendo cortado pelo fio metálico aquecido

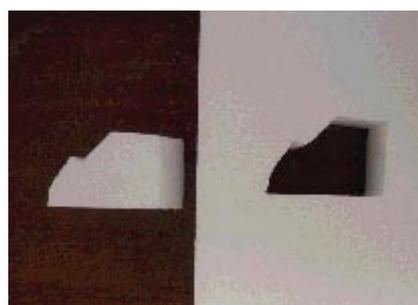


Figura 31 – "Miolo" do isopor retirado com correspondente na moldura



Figura 32 – Moldura preenchida com "alloy"



Figura 33 – Proteção sendo retirada da moldura



Figura 34 – Proteção sendo limada



Figura 35 – Proteção pronta



Figura 36 – “Check film” no aparelho

Ortovoltagem e Telecobaltoterapia

1- EQUIPAMENTOS DE ORTOVOLTAGEM E TERAPIA SUPERFICIAL

1.1 Histórico e evolução dos aparelhos

O papel da ortovoltagem nos primórdios da radioterapia externa

Os equipamentos de ortovoltagem, também conhecidos como equipamentos de terapia profunda, foram as primeiras máquinas utilizadas em larga escala para tratamentos de radioterapia externa. Todos os padrões básicos de doses terapêuticas, fracionamentos, doses de tolerância, dosimetria clínica e física e técnicas de localização foram obtidos a partir da experiência acumulada com a utilização desses equipamentos. Por isso podemos afirmar que a ortovoltagem e a terapia superficial constituíram a base primária sobre a qual foram estabelecidos todos os princípios da radioterapia moderna.

Principais modelos e fabricantes de equipamentos de ortovoltagem

Durante a era da ortovoltagem, assim como hoje em dia, algumas companhias de renome primaram pela construção e comercialização do que houve de mais avançado e mais popular nesses equipamentos. Nas décadas 40-60 os fabricantes e modelos de grande popularidade foram:

SIEMENS

- Stabilipan I - Ortovoltagem até 200/250KV
- Stabilipan II - Ortovoltagem até 300 KV - Isocêntrico (pendular)
- Dermopan I e II - Terapia Superficial de 20KV até 60KV

PHILIPS

- RT250 - Ortovoltagem até 250KV
- RT100 - Terapia Superficial até 100KV
- RT50 - Terapia Superficial até 50KV
- Metalix - Terapia Superficial até 50KV (Chaoul)

WESTINGHOUSE

- Quadrocondex 200 KV e Quadrocondex 250KV - Ortovoltagem até 200KV e 250KV

GENERAL ELECTRIC

- Maximar 400KV - Ortovoltagem unitanque até 400KV
- KX 10 - Terapia Superficial até 100KV

A crise da ortovoltagem com o aparecimento do Cobalto 60 e dos Aceleradores Lineares

Com o aparecimento dos aparelhos de Cobalto 60 na década de 60 e posteriormente com o lançamento dos Aceleradores Lineares para uso médico, que se popularizaram a partir do final da década de 60, os equipamentos de ortovoltagem não conseguiram manter seu "lugar ao sol" devido às características físicas, desses novos equipamentos revolucionários para a época, tais como um maior poder de penetração (%DP).

Os equipamentos de ortovoltagem nos dias de hoje - perspectivas

Recentemente (há cerca de 5 anos) algumas companhias resolveram relançar equipamentos de ortovoltagem, incorporando aos mesmos algumas novidades e dispositivos tecnológicos que não eram disponíveis então. Isso não quer dizer de modo algum que esses equipamentos foram relançados no mercado a fim de competir com os aparelhos existentes. Acontece que devido ao baixo poder de penetração, simplicidade de funcionamento e durabilidade do tubo de raios X, às vezes ainda existem aplicações e utilidades para tais máquinas, principalmente em locais onde a instalação de um acelerador linear de media ou alta energia com feixes de elétrons não é recomendada.

1.2 Princípios práticos de funcionamento e construção

O Gerador de Raios-X e a Estativa Fixa - marcos fundamentais em teleterapia

Os equipamentos de ortovoltagem e

terapia superficial funcionam segundo os mesmos princípios eletrônicos dos aparelhos de raios X de diagnóstico, com:

- Gerador e retificador de alta tensão variável.
- Tubo de raios X de anodo fixo embutido em um cabeçote refrigerado a óleo.
- Controles da corrente de tubo (mA), kilovoltagem (KV) e tempo de tratamento.

KV, mA, filtração e HVL em Ortovoltagem e Terapia Superficial

Os principais parâmetros utilizados em ortovoltagem e terapia superficial são:

- KV - Kilovoltagem: Determina a energia (penetração) do feixe
- mA - Miliamperagem: Determina a corrente (rendimento) do feixe
- Filtração adicional: Determina o grau de qualidade do feixe
- HVL - camada semi-redutora: Valor utilizado pelo físico para cálculos e dosimetria

Funcionamento básico dos equipamentos de Ortovoltagem e Terapia Superficial

Desenho e construção dos tubos de raios-x de ortovoltagem e de terapia superficial

Os equipamentos de ortovoltagem e terapia superficial funcionam exatamente como um aparelho de raios x. Primeiro aplica-se uma alta tensão em um transformador de alto ganho e potência. Com isso conseguimos gerar alta-voltagem de até 400KV, em alguns casos. Como essa alta voltagem é alternada, ela precisa ser retificada antes de ser aplicado ao tubo de raios X. Depois de retificada, a alta voltagem é aplicada ao tubo causando a aceleração dos elétrons com a decorrente produção de raios X. Um dispositivo eletrônico (transformador de filamento) permite o controle da corrente do tubo (mA) e com isso pode-se escolher o rendimento adequado para o tratamento. O cronômetro serve para se determinar com exatidão o tempo de tratamento ao qual o paciente deve ser submetido.

Colimação em Ortovoltagem e Terapia Superficial

É muito comum a utilização de cones localizadores nos equipamentos de ortovoltagem e terapia superficial. Nesse particular eles se parecem um pouco com os feixes de elétrons dos Ac. Lineares. Existem também equipamentos que utilizam colimadores ajustáveis, embora isto não seja muito comum.

A utilização desses cones é principalmente devido à:

- maior precisão da determinação da distância fonte-pele;
- obtenção de uma penumbra bastante reduzida;
- simplificação da construção do cabeçote do equipamento;
- possibilidade de delimitação da área irradiada com máscaras de chumbo.

1.3 Aplicações clínicas no passado e no presente

O papel da ortovoltagem na evolução da teleterapia

Como já foi mencionado anteriormente, esses equipamentos foram as únicas armas que durante muitos anos os radioterapeutas dispuseram para tratamentos de radioterapia externa. Muitas técnicas e procedimentos hoje utilizados, em megavoltagem, exigiam um esforço considerável quando utilizados em ortovoltagem, principalmente devido às limitações de penetração do feixe, limitação do tamanho de campo e da taxa de dose.

Por que a ortovoltagem cedeu lugar a megavoltagem?

O poder de penetração dos equipamentos de megavoltagem é bem superior aos da ortovoltagem. Por isso, os esquemas de tratamento e composições de campo utilizadas com aparelhos de cobalto e Aceleradores Lineares produzem uma homogeneidade de dose e menor irradiação dos tecidos sadios em níveis incomparáveis aos da ortovoltagem. Veja abaixo uma tabela comparativa do poder de penetração a 10 cm de profundidade para feixes de ortovoltagem, cobalto e aceleradores lineares.

100 KV 40 cm SSD	140 KV 40 cm SSD	250 KV 40 cm SSD	Co 60 80 cm SSD	6 MV 100 cm SSD	10 MV 100 cm SSD
11,9 %	21,4 %	29,5 %	56,4 %	66,8 %	74,8%

Além de tudo isso, os equipamentos de megavoltagem apresentaram uma característica do ponto de vista físico que foi fundamental para a evolução da radioterapia moderna - o efeito de poupamento da pele. Enquanto que na terapia convencional o ponto máximo de dose era na pele, no caso da megavoltagem este ponto se aprofundava até 5mm para o cobalto e até mesmo 30mm para os feixes de aceleradores lineares de alta energia. A importância disso se

deve ao fato prático que as reações na pele diminuíram inacreditavelmente com o uso da megavoltagem.

Tratamentos com indicação específica para ortovoltagem e terapia superficial que resistem ao tempo

Por outro lado, existem lesões e tipos de tratamento nos quais se necessita de um alcance superficial e em muitos casos de uma irradiação propositada da pele. São nestes casos que os equipamentos de ortovoltagem ainda possuem uma indicação específica. Sendo assim, tratamentos de câncer de pele, profilaxia da formação de cicatriz quelóideana, tratamento de lesões superficiais, bem como algumas outras patologias benignas ou não, ainda encontram tratamento com equipamentos de ortovoltagem e terapia superficial.

A ortovoltagem e terapia superficial x feixes de elétrons

Pode-se argumentar que os efeitos e características da ortovoltagem são também encontrados em feixes clínicos de elétrons produzidos por aceleradores lineares, na faixa de digamos 4 a 8 MeV. Isso em parte é verdade, entretanto tais feixes de elétrons apresentam efeito de poupamento da pele similar ao da megavoltagem. Por outro lado, esses feixes só podem ser obtidos em aceleradores lineares de média e alta energia, normalmente de custo elevado e manutenção especializada, nem sempre apropriados para funcionamento em cidades de menor porte e população.

1.4 Técnicas de utilização e localização em radioterapia com ortovoltagem

- O tratamento em SSD e a utilização de cones aplicadores;
- A estativa fixa;
- Cones abertos, cones fechados, colimadores, máscaras de chumbo e todo o universo de dispositivos da ortovoltagem e terapia superficial;
- Kilovoltagem e filtração - os parâmetros básicos em ortovoltagem.

Basicamente, os tratamentos em ortovoltagem e terapia superficial são do tipo distância fonte-pele, com a utilização quase que sistemática de cones aplicadores. Esses cones estão disponíveis, normalmente, em duas ou três faixas de DFP:

- 30 cm - 40 cm - 50 cm de DFP para ortovoltagem;
- 10 cm - 15 cm - 25 cm de DFP para terapia superficial.

Esses equipamentos, normalmente, possuem uma mesa móvel com roldanas, tipo maca.

Os principais movimentos da estativa são o movimento vertical, o movimento longitudinal e o movimento de angulação do cabeçote.

É lógico que esses movimentos são muito mais restritos do que os dos equipamentos de ortovoltagem.

É muito comum em ortovoltagem a utilização de máscaras de chumbo de 1 mm até 3 mm de chumbo, recortadas com o formato do campo a ser irradiado e construídas de modo a se encaixar no paciente, principalmente nos tratamentos da face.

Antes de se iniciar um tratamento de ortovoltagem, o técnico deve programar o equipamento e localizar o paciente de modo adequado, em função de:

- A KILOVOLTAGEM do Aparelho
- O MILIAMPERE a ser utilizado
- A FILTRAÇÃO ADICIONAL a ser inserida
- O TEMPO DE TRATAMENTO a ser aplicado
- A DISTÂNCIA FONTE-PELE e o CONE APLICADOR escolhido
- AS MÁSCARAS ou ACESSÓRIOS adicionais

1.5 Procedimentos de emergência e cuidados com o equipamento

- Principais situações de emergência e como proceder;
- Cuidados básicos e focos de atenção nos equipamentos;
- Como o técnico pode efetuar procedimentos básicos de controle de qualidade em ortovoltagem e afins;
- O técnico como linha de frente no alerta contra problemas presentes e futuros.

Os equipamentos de ortovoltagem são equipamentos bastante seguros em todos os aspectos. Entretanto, podemos mencionar algumas situações emergenciais e como proceder.

• O EQUIPAMENTO NÃO DESLIGA O FEIXE APÓS TERMINADO O TRATAMENTO

Muito embora os equipamentos a partir da década de 60 fossem equipados com cronômetros duplos, no caso de não desligamento do feixe pressione imediatamente o botão de interrupção de feixe e, caso o problema persista, o botão geral de emergência.

• O PACIENTE SE QUEIXA DE CHOQUES ELÉTRICOS DURANTE A LOCALIZAÇÃO OU TRATAMENTO.

A quase totalidade dos equipamentos de ortovoltagem possui a carcaça conectada à terra. Entretanto, no caso de qualquer sinal de choque elétrico ou centelhamento desligue imediatamente o equipamento no botão de emergência ou na chave geral alimentadora.

• VAZAMENTO OU DERRAMAMENTO, EM LARGA ESCALA, DO ÓLEO DE REFRIGERAÇÃO.

Como os cabeçotes destes equipamentos são refrigerados a óleo, existe a possibilidade do rompimento de tubos, juntas ou janelas de selagem durante a localização ou aplicação. Nesse caso, desligue imediatamente o equipamento no botão de emergência e remova o mais rápido possível o paciente do contato com o óleo. Muito embora o óleo em si não ofereça um perigo imediato, nem esteja a uma temperatura muito quente, ele é extremamente desconfortável e pode causar irritação em peles mais sensíveis, principalmente as de paciente irradiados. Neste caso procure imediatamente o radioterapeuta para que os procedimentos apropriados sejam efetuados.

O técnico em radioterapia é certamente o profissional que por estar em contato direto e diário com o equipamento pode melhor avaliar seu desempenho, bem como prever e prevenir com o auxílio de outros profissionais o mau funcionamento de seu equipamento. Alguns pontos importantes, dignos de relato para equipamentos de ortovoltagem são:

- Estabilidade do indicador de miliampere;
- Ausência de vazamentos de óleo nos tubos e cabeçotes;
- Temperatura da carcaça ao longo da utilização do equipamento;
- Ausência de ruídos estranhos, tais como centelhamentos ou arcos elétricos;
- Suavidade de movimentação da estativa e cabeçote;
- Integridade e rotulagem dos cones localizadores, filtros e acessórios.

1.6 Normas nacionais aplicáveis a equipamentos de ortovoltagem

• Seu equipamento satisfaz os critérios básicos de segurança para você e seus pacientes?

• O que dizem as normas nacionais e internacionais sobre o funcionamento de equipamentos de ortovoltagem e afins?

• Como proceder no sentido de implementar a qualidade da segurança de sua instalação

A legislação nacional no que se refere a equipamentos de ortovoltagem consiste basicamente da norma NE 3.06 e NE 6.02 da CNEN?

Alguns itens básicos de segurança radiológica de sua instalação são:

• DISPOSITIVO DE INTERTRAVAMENTO DA PORTA

• DUPLA CRONOMETRAGEM DO FEIXE

• DOSIMETRIA SISTEMÁTICA E RECENTE DOS FEIXES

• POSSIBILIDADE DE ABERTURA DA PORTA PELO LADO INTERNO DA SALA

• SISTEMA DE MONITORAÇÃO ÁUDIO-VISUAL DO PACIENTE

• RÓTULO INDICATIVO DE ÁREA CONTROLADA, AFIXADO NA PORTA COM NOMES E TELEFONES DE CONTATO DO RADIOTERAPEUTA E FÍSICO RESPONSÁVEIS

• SINALIZADOR LUMINOSO DE FEIXE AFIXADO ACIMA DA PORTA E NO COMANDO

Desse modo, por conhecer melhor as características e exigências básicas para funcionamento de equipamentos de ortovoltagem, o técnico em radioterapia pode e deve desempenhar um papel importante no sentido de alertar seus superiores quando algo não funcionar adequadamente.

2 - Equipamentos de Telecobaltoterapia

2.1 Histórico e evolução dos equipamentos - 50 anos de Telecobaltoterapia

O papel da telecobaltoterapia na evolução da radioterapia externa

Os equipamentos de cobaltoterapia

desempenharam um papel fundamental no processo de evolução técnica da radiação externa. O surgimento do cobalto 60 veio solucionar limitações e viabilizar técnicas de tratamento que consagraram a eficácia da teleterapia por mais de três décadas.

Principais modelos e fabricantes de equipamentos de telecobaltoterapia

Após o aparecimento das primeiras unidades experimentais, várias empresas desenvolveram equipamentos que se tornaram famosos e foram amplamente comercializados pelo mundo:

- Theratronics - AECL - desde 1955 - até a presente data:

- Eldorado A - Eldorado 8 - Eldorado 78 - Theratron 60 - Theratron 80 - Theratron 780 - Theratron 780C - Phoenix - Theratron 780C Elite

- Siemens - desde 1960 até 1990:

- Gammatron I - Gammatron II - Gammatron III - Gammatron S180

- CGR-MEV:

- Alcyon I e Alcyon II

Entre outros fabricantes podemos também citar a Picker e a recém-criada INVAP que vem comercializando equipamentos de telecobalto fabricados na Argentina.

Os equipamentos de telecobaltoterapia

Os equipamentos de telecobaltoterapia nos dias de hoje - perspectivas

Os equipamentos de Cobalto 60 continuam desempenhando um papel de extrema importância nos dias atuais. Devido a sua simplicidade de funcionamento e baixo custo de manutenção, esses equipamentos continuam sendo amplamente utilizados no mundo inteiro. Com a incorporação de alguns avanços tecnológicos recentes, tais como a utilização de computadores para controle do equipamento, os equipamentos de cobalto continuarão a serem utilizados, principalmente em cidades do interior ou regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos.

2.2 Arquitetura e funcionamento dos equipamentos de Telecobalto

A fonte selada de Cobalto 60

Num equipamento de cobaltoterapia, o radioisótopo Co 60 encontra-se confinado em um cilindro metálico de aproximadamente 2cm de diâmetro x 2cm de altura constituindo assim a fonte de cobalto 60. Dentro dessa fonte, duplamente encapsulada, foram depositados os pequenos "pellets" provenientes do reator nuclear que os produziu por um processo de ativação por nêutrons.

Mecanismos de atuação da fonte

Diversos mecanismos de movimentação da fonte de cobalto 60 foram utilizados. Os mais difundidos foram o de movimentação da gaveta porta-fontes através de um pistão de atuação pneumática (Theratronics) e rotação mecânica da gaveta através de um motor ou dispositivo magnético (Siemens).

"Gantry", cabeçote e colimador

- "Gantry" ou estativa - base de fixação com dispositivo de movimentação isocêntrica ou de traslação vertical do cabeçote.

- Cabeçote ou braço - peça construída em chumbo fundido, pesando aproximadamente 1.500 kg, onde estão localizadas o dispositivo de movimentação da fonte e o colimador.

- Colimador - sistema composto de blocos móveis confeccionados em chumbo, urânio ou tungstênio, responsáveis pela delimitação do campo divergente de radiações.

Movimentos da mesa

- Movimento de traslação vertical
- Movimento de traslação longitudinal e lateral

- Movimento de rotação do tampo da mesa ("stretch rotation")

- Movimento de rotação do pé da mesa ("couch rotation")

2.3 O equipamento isocêntrico e seu papel na evolução das técnicas de localização

O que é um equipamento isocêntrico

Um equipamento isocêntrico é um aparelho construído de tal forma que o braço gira em torno de um eixo central denominado eixo isocêntrico. Isto significa que ao ser girado o aparelho aponta para um mesmo ponto, qualquer que seja a

angulação utilizada. Este ponto é denominado isocentro e os tratamentos que utilizam esta característica são denominados tratamentos isocêntricos (SAD).

Técnicas de localização e posicionamento de tratamentos isocêntricos

Numa localização isocêntrica, o ponto central de interesse é o centro da lesão. Com o auxílio dos movimentos da mesa, o paciente é posicionado de forma que o ponto central de todos os campos coincida com o isocentro. Desse modo será necessária apenas a movimentação da rotação do "gantry" uma vez que todos os campos angulados convergirão para um mesmo ponto.

Tratamentos em arco e múltiplos isocentros

Equipamentos isocêntricos permitem a realização de tratamentos dinâmicos, tais como campos rotatórios em arcos completos, arcos parciais ou mesmo arcos com múltiplos isocentros.

2.4 Movimentos do cabeçote ■

Principais movimentos do braço e do colimador.

- Rotação do braço
- Rotação do cabeçote
- Rotação do colimador
- Definição do tamanho de campo

Como utilizar os movimentos na otimização do processo de localização

2.5 Procedimentos de emergência ■

Principais situações de emergência para equipamentos de cobaltoterapia

Os equipamentos de cobaltoterapia são equipamentos bastante seguros em todos os aspectos. Entretanto, podemos mencionar algumas situações emergenciais e como proceder.

- **O EQUIPAMENTO NÃO DESLIGA O FEIXE DEPOIS DE TERMINADO O TRATAMENTO**
- **A FONTE DE COBALTO 60 NÃO RECOLHE DEPOIS DE TERMINADO O TRATAMENTO.**

Em ambos os casos, por algum motivo emergencial, o cronômetro não desligou o feixe

ou a fonte ficou presa na posição ligada, o que pode ser verificado ou pelos indicadores luminosos ou pela constatação visual de um pino vermelho no cabeçote indicador de feixe atuado.

O procedimento básico será:

- 1 - pressione o botão de emergência e verifique se a fonte foi recolhida.
- 2 - caso contrário, entre na sala de tratamento e retire imediatamente o paciente do feixe, usando os movimentos da mesa, e tomando cuidado para não se expor ao feixe primário.
- 3 - instrua o paciente para deixar a sala.
- 4 - utilize a barra de recolhimento de emergência para proceder ao recolhimento mecânico da fonte na posição de segurança.
- 5 - caso este procedimento não seja bem sucedido, saia da sala, feche a porta e comunique o fato imediatamente ao setor de Física Médica ou ao seu superior. Não deixe o comando até que o problema seja relatado a outros membros da equipe.

IMINÊNCIA DE COLISÃO DO APARELHO COM O PACIENTE OU OUTROS DISPOSITIVOS

No caso de algum movimento indesejado e perigoso do braço, do colimador ou da mesa de tratamento, o procedimento será:

- 1 - pressione imediatamente o botão de emergência a fim de interromper a ameaça do movimento descontrolado.
- 2 - caso o paciente seja atingido ou fique imobilizado, procure ajuda imediatamente no sentido de liberar o paciente da imobilização produzida.

INCÊNDIO NAS INSTALAÇÕES DO SERVIÇO

No caso de um alarme de incêndio nas instalações, o procedimento será:

- 1 - encerre imediatamente a aplicação em curso e retire o paciente da sala de tratamento.
- 2 - desligue o equipamento na chave ou no botão de emergência, feche a porta da sala e abandone o local de acordo com os procedimentos de emergência estabelecidos por sua brigada de incêndio.

2.6 O papel do técnico no controle de qualidade em telecobaltoterapia ■

- **Como o técnico pode efetuar procedimentos básicos de controle de**

qualidade em telecobaltoterapia:

- O técnico como linha de frente no alerta contra problemas presentes e futuros;
- Cuidados básicos e focos de atenção.

O técnico em radioterapia é certamente o profissional que por estar em contato direto e diário com o equipamento pode melhor avaliar e prevenir com o auxílio de outros profissionais o mau funcionamento de seu equipamento. Alguns pontos importantes, dignos de relato para equipamentos de cobaltoterapia são:

- Integridade e funcionamento contínuo do cronômetro mecânico;
- Consistência de funcionamento do cronômetro digital;
- Ausência de ruídos indicadores de vazamentos de ar no sistema pneumático;
- Ausência de ruídos estranhos de natureza mecânica;
- Suavidade de movimentação da estativa e cabeçote;
- Integridade e rotulagem dos filtros e acessórios.

2.7 Normas nacionais aplicáveis a equipamentos de telecobaltoterapia

- Seu equipamento satisfaz os critérios básicos de segurança para você e seus pacientes?
- O que dizem as normas nacionais e internacionais sobre o funcionamento de equipamentos de telecobaltoterapia?
- Como proceder no sentido de implementar a qualidade da segurança de sua instalação?

A legislação nacional no que se refere a equipamentos de telecobaltoterapia consiste basicamente da norma NE 3.06 e NE 6.02 da CNEN.

Alguns itens básicos de segurança radiológica de sua instalação são:

- DISPOSITIVO DE INTERTRAVAMENTO DA PORTA
- INDICAÇÃO MECÂNICA DE FEIXE ATIVADO
- EXISTÊNCIA DE DISPOSITIVO PARA RECOLHIMENTO MECÂNICO EMERGENCIAL DA FONTE
- DOSIMETRIA SISTEMÁTICA E RECENTE DOS FEIXES

- POSSIBILIDADE DE ABERTURA DA PORTA PELO LADO INTERNO DA SALA
- SISTEMA DE MONITORAÇÃO ÁUDIO VISUAL DO PACIENTE
- RÓTULO INDICATIVO DE ÁREA CONTROLADA, AFIXADO NA PORTA COM NOMES E TELEFONES DE CONTATO DO RADIOTERAPEUTA E FÍSICO RESPONSÁVEIS
- SINALIZADOR LUMINOSO DE FEIXE AFIXADO ACIMA DA PORTA E NO COMANDO

Desse modo, por conhecer melhor as características e exigências básicas para funcionamento de equipamentos de telecobalto, o técnico em radioterapia pode e deve desempenhar um papel importante no sentido de alertar seus superiores quando algo não funcionar adequadamente.

FIGURAS

- **Ortovoltagem**

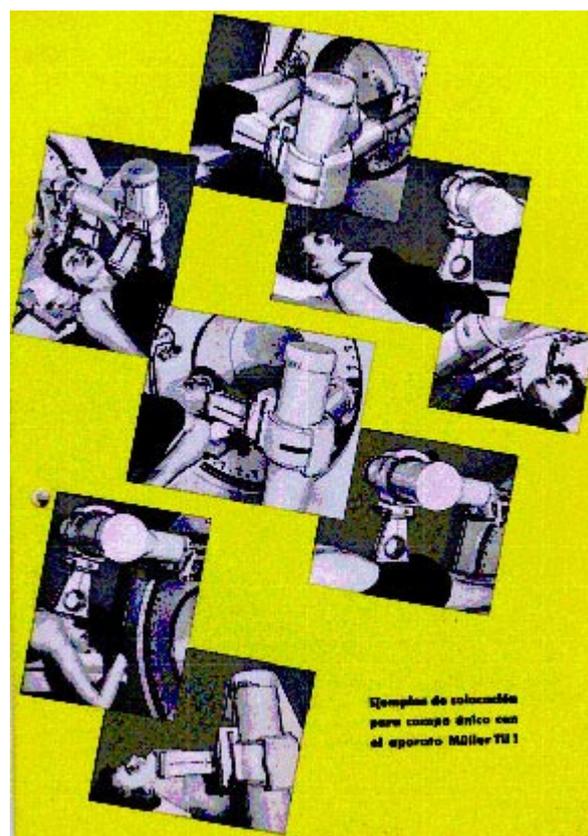


Fig. 1. A História da ortovoltagem



Fig. 2. Tubo de RX de ortovoltagem

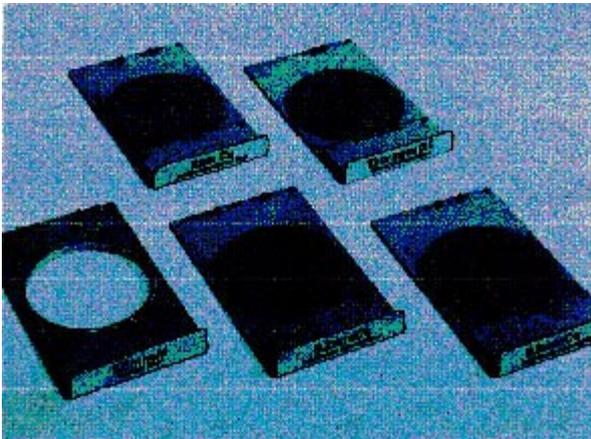


Fig. 3. Filtros adicionais



Fig. 4. Cones aplicadores



Fig. 5. Máscaras customizadas



Fig. 6. Equipamento de ortovoltagem moderno

• Telecobalto

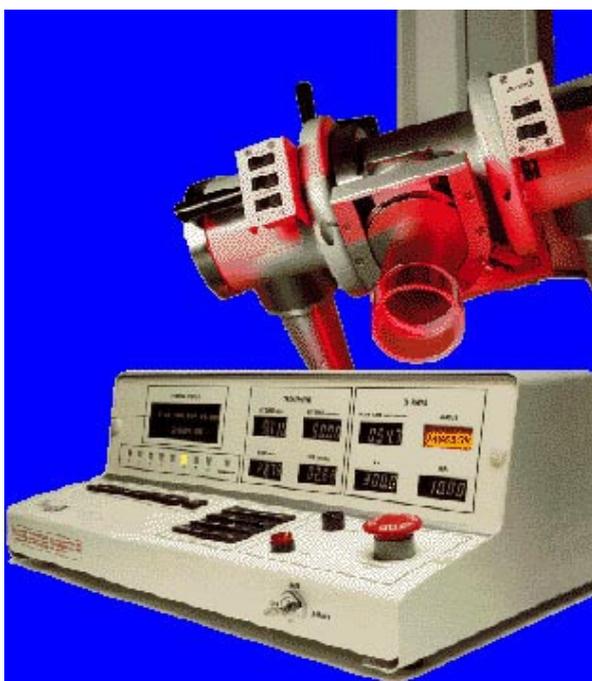


Fig. 7. Comando ortovoltagem

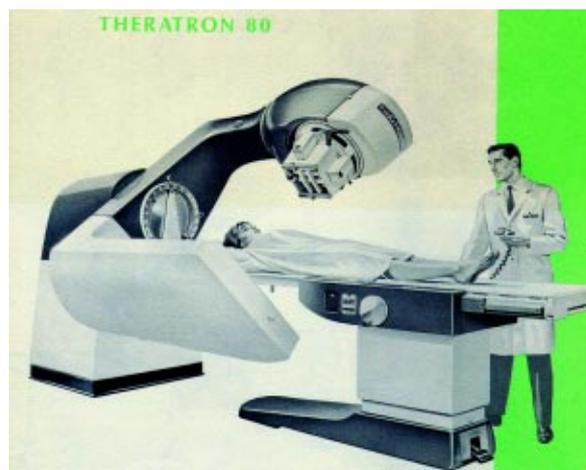


Fig. 10. Primeiros equipamentos isocêntricos



Fig. 8. Equipamento superficial moderno

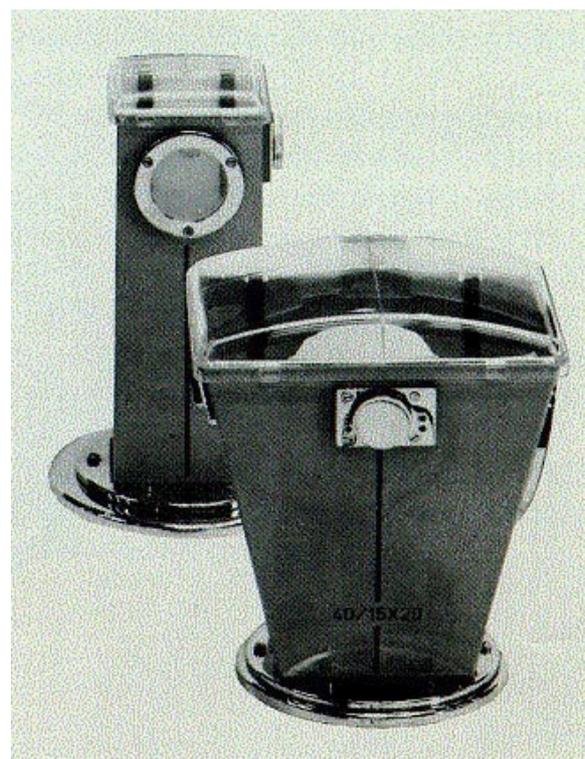


Fig. 11. Equipamento de estativa fixa



Fig. 9. Comando ortovoltagem

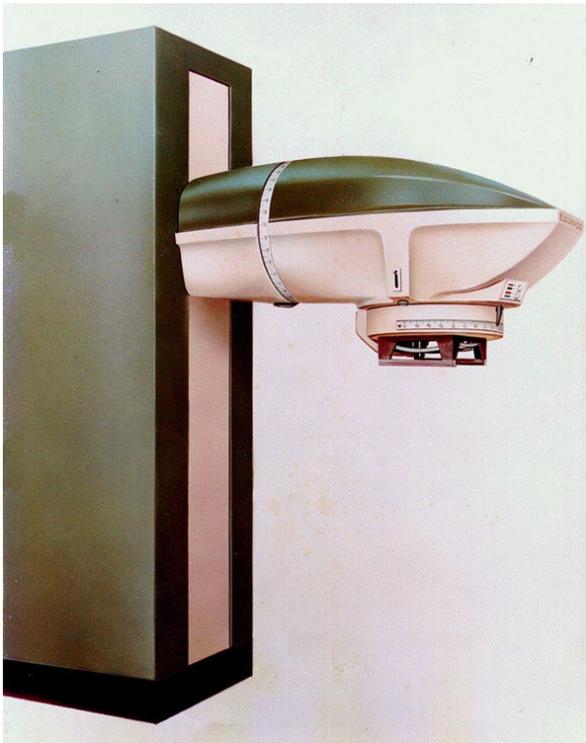


Fig. 12. Equipamento ⁶⁰Co atual

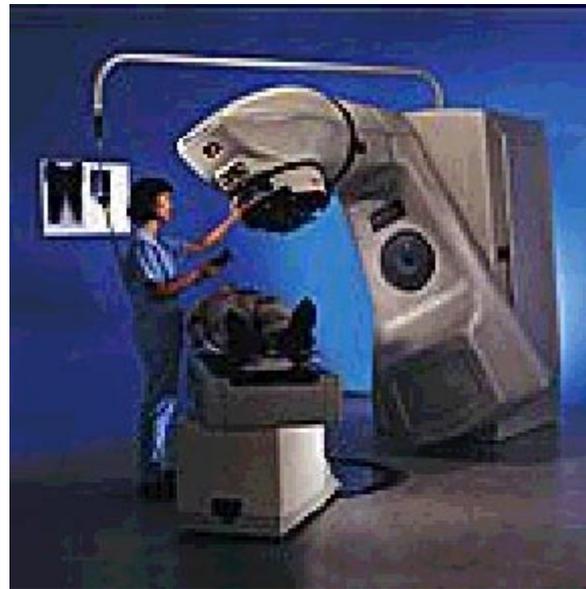


Fig. 13. Equipamento ⁶⁰Co atual

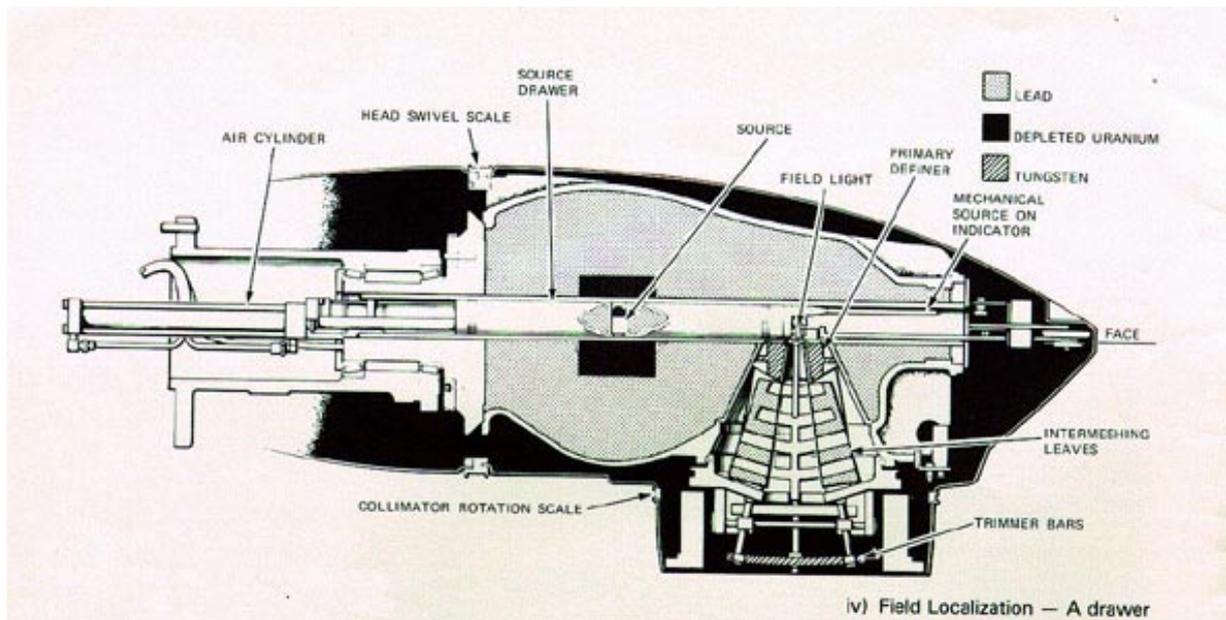


Fig. 14. Cabeçote ⁶⁰Co

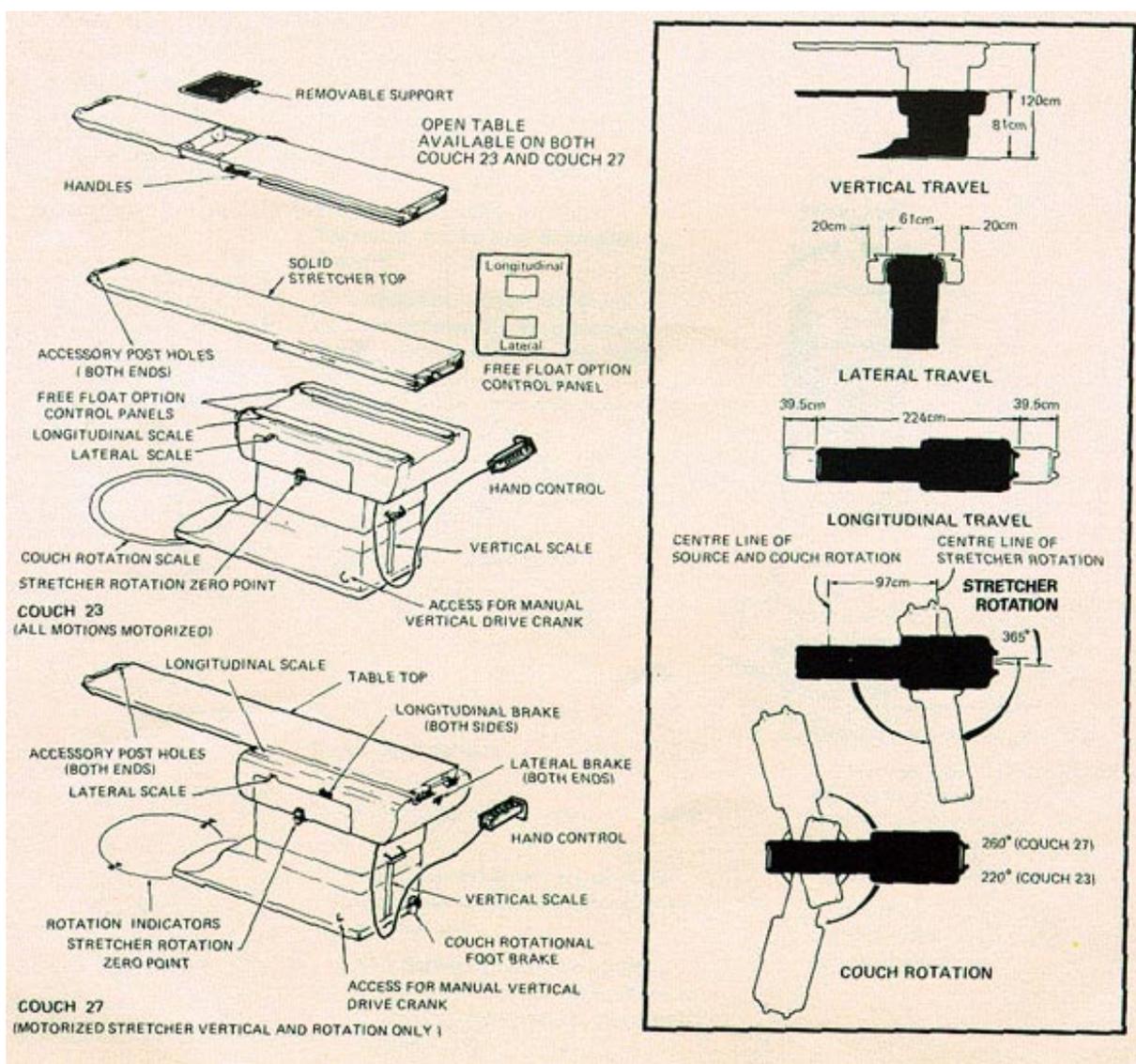


Fig. 15. Mesa de tratamento



Fig. 16. Troca de fonte Co⁶⁰



Fig. 17. Troca de fonte Co⁶⁰

Tratamento com elétrons

Em 1940, o professor Donald W. Kerst da Universidade de Illinois construiu o primeiro modelo de um acelerador de elétrons baseado em indução magnética para acelerar elétrons em uma órbita circular. O acelerador foi chamado de betatron. Este desenvolvimento pode ser considerado historicamente o ponto inicial da possibilidade da radioterapia com fótons e elétrons de alta energia.

Após desenvolvimento de parâmetros físicos, teóricos e experimentais, um programa clínico padrão para tratamento com fótons de alta energia foi iniciado em 1950, no Departamento de Radiologia do Colégio de Medicina de Illinois em Chicago, e a terapia com feixes de elétrons de alta energia foi iniciado em 1951.

Em 1970, o betatron perdeu a popularidade para os aceleradores lineares, que foram completamente repostos durante esta década.

O primeiro acelerador linear para aplicação clínica de fótons foi instalado em 1953. A primeira aplicação com feixe de elétrons a partir de um acelerador linear teve início por volta de 1957.

A confiança com a qual fazemos uso de elétrons na radioterapia é devido ao progresso ocorrido na computação bem como na tecnologia dos aceleradores. Avanços têm ocorrido em todas as áreas, desde os parâmetros físicos do feixe de elétrons, aspectos teóricos, modo do feixe, método computacional, dosimetria e entendimento da interação elétron- tecido.

O maior interesse na dosimetria é o mecanismo de deposição de energia na matéria pelo campo de radiação. O feixe de partícula carregada perde energia de maneira distintamente para o feixe de fótons. Os fótons sofrem uma interação intermediária pela transferência de energia, primeiramente do elétron, antes de qualquer transferência de energia do feixe para o meio. O feixe de elétrons se inicia pela perda de energia para o meio imediatamente.

Um elétron, circundado pelo seu campo elétrico coulombiano, começará interagir com o átomo imediatamente depois de interagir com o meio, com um número de diferentes tipos de colisões. A interação é aplicada para o processo no qual a energia e/ou a direção do elétron é alterado.

Na maioria das interações uma pequena fração da energia do elétron será transferida para o meio. A partícula andará, entretanto, através de muitas colisões antes de dissipar toda a sua energia.

Os tipos mais importantes de interações que podem ocorrer entre um elétron e um átomo são ilustrados na figura 1, usando o modelo esquemático do átomo de Bohr.

Em todos os átomos, os elétrons tendem a ocupar o estado de mais baixa energia, começando pela camada K. Os elétrons mais internos são os mais fortemente ligados, requerendo uma energia maior para removê- los.

Inicialmente, o elétron encontra- se em uma situação de estado estável, de não radiação, com valores de energia caracterizados e momentos orbitais discretos.

Como os elétrons se movem através da matéria, eles interagem com os átomos do meio. Estes processos de interação são:

1. Colisão inelástica com elétrons orbitais, resultando na perda de energia cinética, causando ionização e excitação.
2. Interação inelástica com o núcleo, resultando na conversão da energia cinética radiação, causando "bremstrahlung".

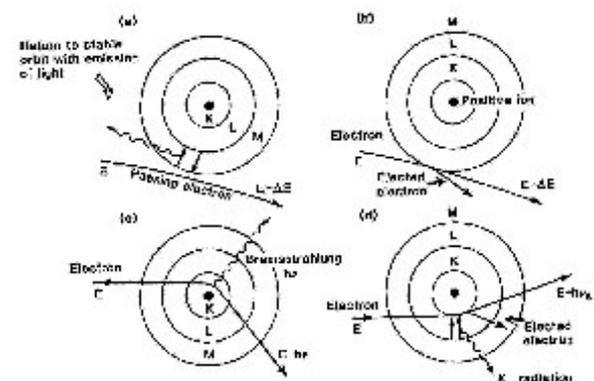


Fig. 1: Interação entre o elétron e o átomo

3. Espalhamento elástico com elétrons orbitais e o núcleo, o qual resulta na mudança do caminho dos elétrons e sua perda de energia.

Estes processos, especialmente o espalhamento elástico, causam o espalhamento no feixe.

Considerações Técnicas durante o Tratamento

A colimação do feixe é obtida usando-se aplicadores, os quais dependem do tamanho do campo a ser tratado, sendo de 6 x 6, 6 x 15, 10 x 10, 15 x 15, 20 x 20 e 25 x 25, para as máquinas da Varian. A figura 2 mostra um aplicador em posição do tratamento. Se o campo necessita ser bloqueado, blocos individualizados são confeccionados e acoplados ao aplicador, como mostra a figura 3.

Alguns aceleradores, como no caso do Saturne I, apresentam-se com hastes ("trimers") para elétrons e não com aplicadores.

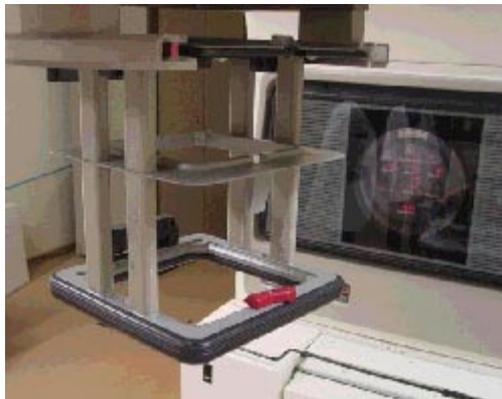


Fig.2 – Demonstração do aplicador de elétrons.



Fig.3 – Demonstração de um bloco de proteção para elétrons.

Na figura 4, temos a apresentação do aplicador com a proteção. Caso o tratamento não tenha proteção, para as máquinas da Varian deve-se colocar a moldura vazia dentro do aplicador para que o tratamento seja liberado.



Fig. 4 – Visualização do aplicador com bloco de proteção.

A distância da borda do aplicador ao paciente deve ser pequena para que o espalhamento seja o menor possível na pele do paciente. Portanto, é imprescindível manter o equipamento calibrado e conhecer as características do feixe, observando sempre a reação secundária na pele do paciente.

A diferença entre o tratamento realizado com feixes de fótons e elétrons é que o elétron interage diretamente no meio, enquanto que o fóton pode passar pelo paciente sem que ocorra qualquer ionização.

A figura 5 mostra uma seção transversal de um acelerador típico para uso clínico com elétrons. Elétrons partindo do tubo do acelerador são direcionados por quadrupolos e então passam pelo magneto que curva o feixe em 90 graus. O feixe de elétron passa pela janela de vácuo, a primeira folha espalhadora, o primeiro colimador, a segunda folha espalhadora, os monitores de transmissão, o espelho, o ar, o colimador de fótons, e finalmente, o colimador de elétrons. As características do feixe de elétrons bem como a contaminação de fótons são afetadas por todas estas componentes.

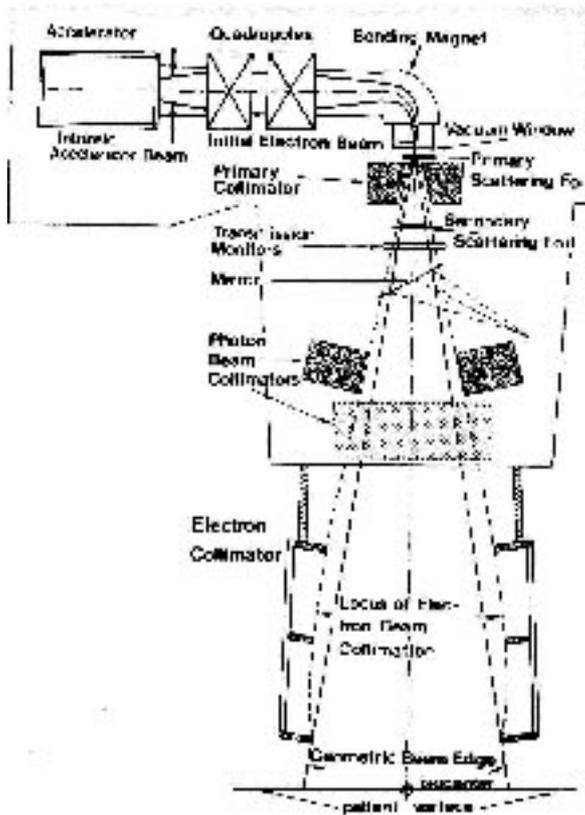


Fig. 5 – Seção transversal de um acelerador para tratamento com feixes de elétrons

Achatamento do Feixe

O feixe de elétrons é essencialmente monoenergético e dirigido a um pincel fino antes de passar pela janela de vácuo. O propósito das folhas espalhadoras é espalhar o feixe em um tamanho clinicamente usual. A escolha do material para os espalhamentos e sua localização afeta o achatamento e a energia do feixe. Um método alternativo usado para produzir o feixe clinicamente implica em variar campos magnéticos para escanear o feixe sobre a área considerada.

Colimação do Feixe

A finalidade do colimador de elétron é limitar o tamanho de campo do feixe de elétron. O desenho do colimador deve ser do tipo de um cone, contendo um diafragma definido, ou pode conter várias placas de limitação do feixe (Fig.6).

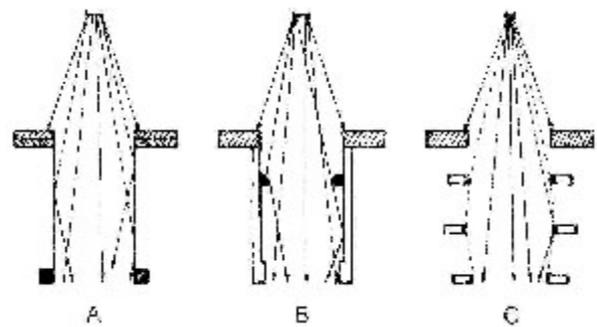


Fig. 6: Os elétrons podem ser espalhados a partir destes diafragmas ou placas; entretanto a forma e o ajuste do colimador influenciam a forma do feixe. A) Colimador em cone ou tubo. B) Colimador em tubo modificado. C) Diafragma usando discretas placas limitadoras com material de alto Z colimando o feixe.

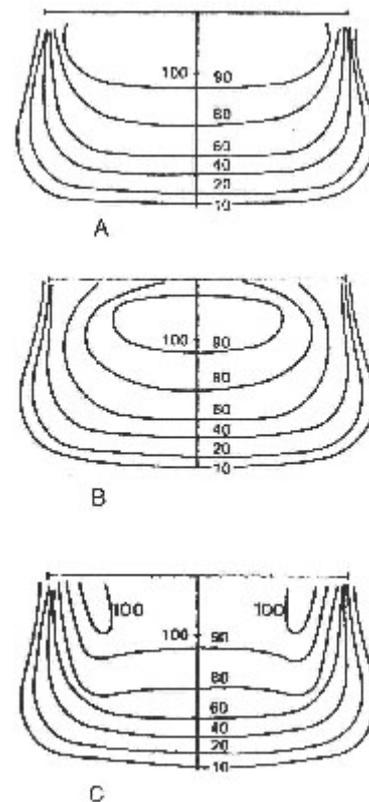


Fig. 7: Efeito do ajuste do colimador na forma da distribuição da isodose nas três condições da figura anterior.

Energia do Feixe

Antes do elétron passar pela janela de vácuo, ele é essencialmente monoenergético. A energia do feixe é igual à energia acelerada. Como a energia passa por vários materiais, folhas espalhadoras, monitores, espelhos, ela é degradada, e o espectro de energia é formado na superfície, tornando-se mais abrangente em profundidade, como mostrado na figura 8.

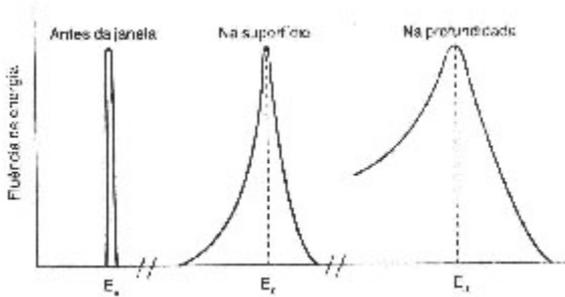


Fig. 8: Distribuição da fluência de energia dos elétrons.

Para suposições clínicas, a energia de interesse do feixe é a energia mais provável na superfície do paciente ou do fantoma ($E_{p,0}$). Para um dado feixe de elétron, pode-se determinar o alcance prático a partir da curva de dose profunda medida para o feixe.

Dose Profunda

Uma das vantagens de se usar feixe de elétrons é a configuração da curva de porcentagem de dose profunda. Ela permanece mais ou menos uniforme e cai rapidamente com a profundidade.

Os elétrons perdem energia quando interagem com o meio, antes da sua energia cinética ser essencialmente reduzida a zero. Isto significa que eles têm um alcance específico, uma profundidade de penetração máxima, a qual é função da energia e do meio.

A figura 9 mostra uma curva típica de dose absorvida x profundidade, expressa em porcentagem de dose máxima $D_{máx}$. A curva sólida representa a dose absorvida total a partir de elétrons e fótons versus profundidade. Existe um aumento de dose a partir da superfície para o máximo, uma região de plato, e um caimento rápido até a componente de "bremstrahlung", $D_{x,tot}$. A curva pontilhada mostra a dose absorvida devido à contaminação de fótons do feixe $D_{x,c}$ versus profundidade. A dose $D_{x,tot}$ é a soma das doses a partir da contaminação dos fótons pelas folhas espalhadas, transmissão do monitor e a dose a partir dos fótons que chegam do fantoma ou do paciente.

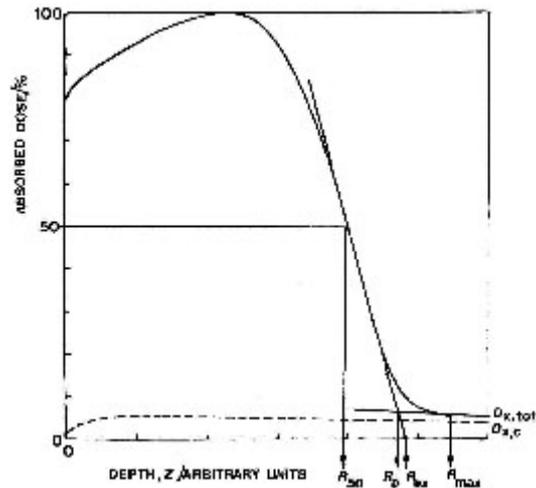


Fig. 9: Definição de vários parâmetros. A dose $D_{x,tot}$ é a radiação de fundo bremstrahlung por 1-fótons gerados no absorvedor e 2-contaminação de fótons no feixe de elétrons incidentes no absorvedor. A dose $D_{x,c}$ é a dose absorvida a partir somente da contaminação de fótons. R_{50} é a profundidade na qual a dose é 50 % da dose máxima; R_p é o alcance prático do feixe de elétrons. R_{EX} é o alcance extrapolado da linha linear descendente e $R_{máx}$ é o alcance máximo, profundidade na qual a curva de dose profunda no eixo central encontra a radiação de fundo "bremstrahlung".

A profundidade, em cm, na qual os elétrons têm de 80% a 90 % da dose máxima, é de cerca de 1/3 a 1/4 da energia dos elétrons.

Para ossos, pulmões, etc, a penetração é também função da densidade.

A poupação da pele com feixes de elétrons é muito pequena. A porcentagem de dose na superfície para feixes de elétrons aumenta com a energia, ao contrário do feixe de fótons.

Profundidade de Dose no Eixo Central e Curvas de Isodose

A figura 10 mostra a dose em profundidade para várias energias. Essas doses são expressas como o percentual de dose máxima ocorrendo no eixo central. As formas das curvas de dose em profundidade e a distribuição depende da máquina, bem como o tamanho de campo e da energia e devem ser medidas sob as condições usadas clinicamente.

Clinicamente, a dose no tecido será prescrita para especificar o nível de dose, por exemplo entre 80% e 90 %. O percentual de dose

profunda selecionado depende da variação da dose sobre o volume de tratamento que é aceitável e sobre a dose que é tolerável para os tecidos normais que circundam o alcance terapêutico. O alcance terapêutico é a profundidade onde ocorre a dose terapêutica.

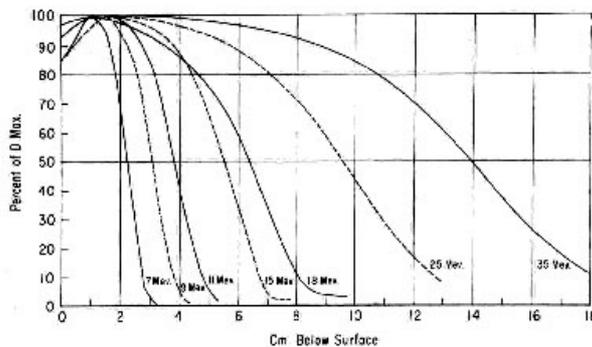


Fig. 10 - Comparação no eixo central da distribuição de dose em profundidade.

Contaminação de RX

A produção de RX por "bremstrahlung" é o resultado de interações inelásticas de elétrons com o núcleo dos átomos no meio. A contaminação de RX aumenta com o aumento da energia do feixe e com o aumento da massa e Z de vários absorvedores no feixe. No uso clínico de elétrons, deve-se manter um mínimo desta contaminação. O alcance é geralmente em torno de 0,5 a 5 % de $D_{máx}$ dependendo da energia do feixe e da forma do acelerador. Sob condições clínicas, a dose devido a esta contaminação é pouco significativa. Entretanto, sob condições de irradiação de corpo inteiro (pele total) e usando técnicas isocêntricas, o RX por "bremstrahlung" a dose é cumulativa e até inaceitável para níveis altos.

Deve ser notado que o RX por "bremstrahlung" é também produzido pelo paciente em ordem de grandeza bem menor do que chega pelo acelerador.

Tamanho de Campo e Forma

É essencial para uso clínico que o feixe de elétrons seja simétrico e plano. Distribuições de isodose devem ser determinadas para cada energia, e SSD e para cada cone. As formas dos colimadores, os espalhamentos e a energia do feixe têm influência na forma da distribuição de isodose.

O índice de uniformidade $U_{90/50}$ é definido pelo ICRU como a razão da área englobada pela curva de 80% ou 90 % pela curva de 50 % da

isodose medida no plano perpendicular ao eixo do feixe na profundidade. Em geral, o nível da isodose de 90 % está dentro da borda geométrica do feixe próximo à superfície e na profundidade de interesse.

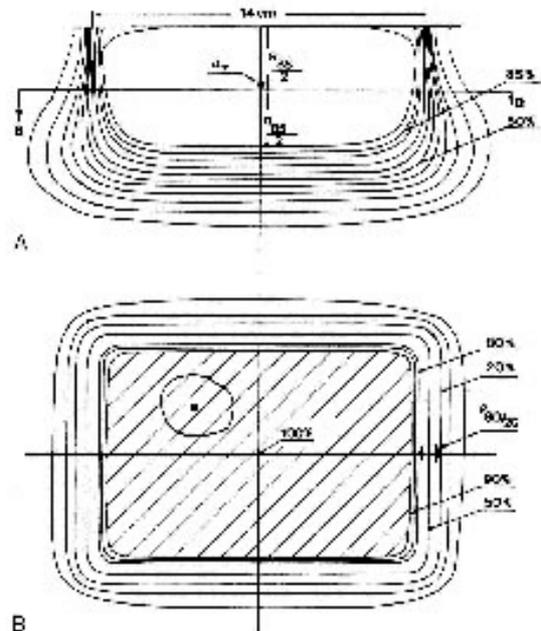


Figura 11: Mostra a distribuição de dose em 2 planos.

Pode-se ver, na figura 12 que a curva de percentual de dose profunda para 8 MeV permanece essencialmente a mesma, para campos maiores de 3 cm de diâmetro; para 32 MeV existem mudanças significativas para campos com diâmetros menores que 10 cm.

O fator de calibração também deve ser avaliado para os vários tamanhos de campo e também para campos bloqueados.

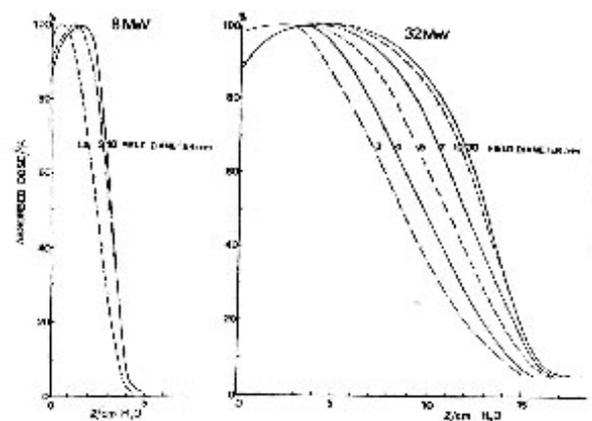


Fig.12 - Variação da curva de percentual de dose profunda com o tamanho de campo

Aspectos físicos e dosimétricos para o planejamento de tratamento

• Escolha de energia e tamanho de campo

Os feixes de elétrons usados em radioterapia tem energia de maior uso prático entre 4 e 20 MeV.

A energia e o tamanho de campo são escolhidos de tal forma que o volume alvo esteja incluído na isodose, na qual a dose terapêutica será liberada, usualmente entre 80%-90%. Cuidado deve ser tomado ao visualizar o volume-alvo para que a superfície proximal, distal, e lateral do alvo estejam dentro do valor da isodose selecionada. Estruturas críticas próximas ao alcance terapêutico R_t devem ser consideradas para evitar doses altas em tecidos normais.

Blocos de "cerrobend" ou chumbo devem ser utilizados para campos com formas especiais.

• Correção para "gaps" de ar e obliquidade

O padrão das isodoses é obtido usando um fantoma plano com o eixo do feixe normal à superfície. Sob condições clínicas, a superfície do paciente é freqüentemente curvada, resultando um gap de ar entre o cone e a pele. Para ângulos incidentes menores que 30 graus, o efeito é que as curvas de isodoses ficam paralelas à superfície e à distribuição de dose no eixo central. A primeira aproximação de correção para a obliquidade é a aplicação da lei do inverso do quadrado da distância a partir da posição virtual da fonte de elétrons. A figura 13 compara o resultado de tais correções para a medida da distribuição de dose. Nota-se que a diferença na região de penumbra onde existe o "gap" é mais larga. Esta diminuição na dose a partir do número de elétrons espalhados poder atingir a pele do paciente causando distribuição de dose complicada próxima à superfície. Porém, estas irregularidades podem ser corrigidas com bolus.

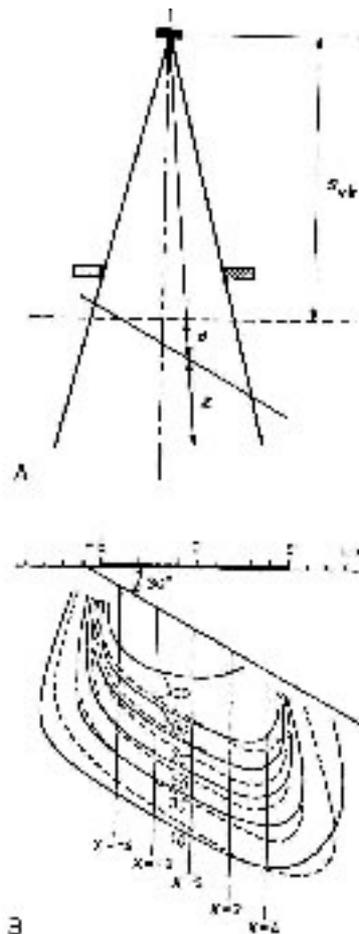


Fig.13 – A) Definição da geometria do feixe de elétrons para incidência obliqua. B) Curvas de isodoses para o ângulo de incidência de 30°, para um tamanho de campo 10 cm x 10 cm, energia de 22 MeV, medido no plano normal. As curvas sólidas são medidas e as pontilhadas são curvas padrão modificadas pela lei do inverso do quadrado da distância.

• Bolus

Bolus são materiais tais como parafina, poliestireno, ou compostos equivalente ao tecido. O bolus é usado para corrigir a falta ou excesso de dose na superfície quando lesões superficiais devem ser tratadas. Dependendo da energia, tamanho de campo e colimação, a dose na superfície (profundidade = 0,5 mm) pode estar a 10% ou 30% abaixo de $D_{máx}$.

Quando o bolus é usado para aumentar a dose na superfície, a profundidade da dose terapêutica é também modificada. Torna-se então necessário aumentar a energia do feixe para compensar este desvio na dose em profundidade. O gradiente de dose do feixe de energia mais alta não é tão rápido, resultando em uma maior dose para os tecidos próximos ao volume de tratamento.

A figura. 14 mostra a forma de uma descontinuidade na superfície de um paciente, bem como a produzida por bolus em uma parte do corpo resultando uma dose mais alta na região.

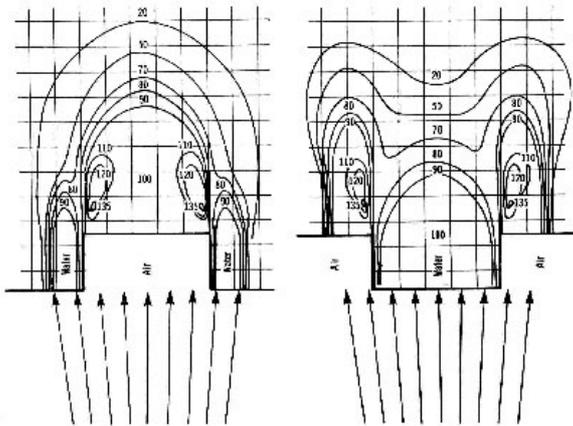


Fig. 14 – Efeito da forma de superfícies irregulares na distribuição de isodose em feixes de elétrons.

• Inomogeneidade no tecido

A distribuição de dose dos feixes de elétrons pode ser alterada devido à presença de inomogeneidades, tais como ossos, cavidades de ar, pulmão, etc. A correção da dose pela inomogeneidade pode ser feita usando-se o coeficiente de tecido equivalente. A dose aproximada é calculada pela determinação de uma profundidade efetiva do ponto de interesse. O fator de correção, o qual é uma função da densidade eletrônica para a homogeneidade, é aplicada para esta espessura.

• Campos Adjacentes

Às vezes, nos tratamentos radioterapêuticos, necessitamos acoplar dois ou mais campos para irradiar uma área. Quando os campos são colocados adjacentes, existem regiões de alta e baixa dose. A figura 15 mostra o efeito de se usar diferentes "gaps" entre os campos. Dependendo do alvo a ser tratado, o "gap" deve ser ajustado tal que a variação na dose seja aceitável. Um "gap" apropriado pode ser escolhido somente se as distribuições de dose sejam conhecidas para as condições clínicas. Embora elétrons sejam utilizados para tratar lesões superficiais, é também prática usar campos sem separação para prover uma dose mais uniforme e aceitar os pontos quentes na profundidade. Uma não uniformidade de dose também ocorre quando feixe de elétrons é adicionado a campos com fótons. Um ponto quente ocorre no campo de fótons e um ponto frio no campo de elétrons.

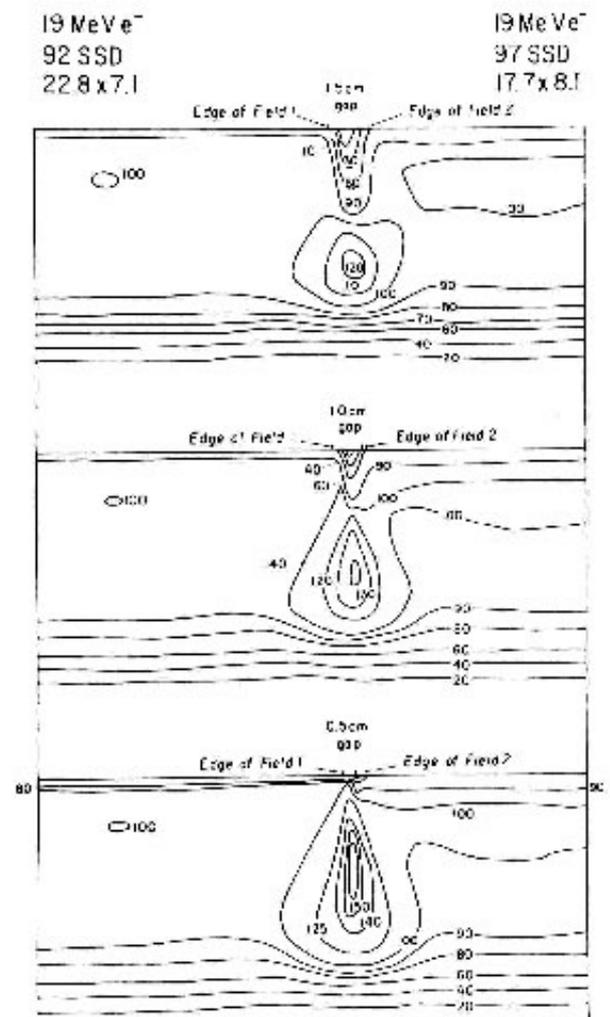


Fig. 15 - Distribuição de isodose para campos de elétrons adjacentes com diferentes larguras de "gaps".

• Reação ao Tecido Normal

Quando comparada à reação ao tecido normal (bem como a resposta ao tumor) por elétrons versus fótons, deve-se considerar o efeito biológico relativo (RBE) destas modalidades, bem como a definição de dose. O RBE para fótons de megavoltagem e elétrons é 1,0 quando comparado a raios de ^{60}Co e 0,85 para feixes de ortovoltagem.

• Reações Agudas

Os primeiros pesquisadores observaram que a reação aguda da pele era muito similar à associada às energias de ortovoltagem se o campo de elétrons fosse utilizado com bolus. A reação da mucosa através da transmissão da pele foi também similar à provocada pela irradiação de ortovoltagem. Um estudo relacionando a tolerância da pele com a área, fracionamento, dose e energia de elétrons

realizado por Tapley concluiu que a tolerância para altas energias (15-18 MeV) é maior que para energias entre 7 e 11 MeV. Esta diferença poderia ser explicada pelo fracionamento aplicado para baixas e altas energias. O tempo de reparação do tecido, tais como epidermites e mucosites, é muito menor com a irradiação de elétrons.

• Reações Crônicas

Dependendo do fracionamento, a relação entre tempo-dose, o volume irradiado, as reações tardias da pele e mucosa são menos severas que aquelas provocadas pela irradiação de meia voltagem e mais severas que as de super e megavoltagem. Com o fracionamento da dose total, reações da dose na pele e na mucosa pela irradiação com elétrons são toleradas sem necroses. Em particular, a preocupação médica é o desenvolvimento de reações severas agudas e tardias do pulmão irradiado e as reações tardias do osso.

Pulmão: Pneumonias agudas intensas e fibroses pulmonares subsequentes são encontradas por causa de dosimetria e de planejamento de tratamento incorretos.

Ossos: Por causa da densidade compacta do osso, existe uma atenuação da dose devido à auto blindagem do osso. Existe também um aumento na dose de entrada do feixe dentro do osso e um pequeno aumento na dose dentro do próprio osso. Estes aumentos são em muitos casos toleráveis, permanecendo o osso intacto, mas necroses podem ser seguidas de trauma e infecção.

Indicações Clínicas Mais Comuns de Feixes de Elétrons ■

O uso de elétrons e a técnica de tratamento inclui frações, dose, energia, tamanho de campo.

Embora em muitos casos ambos feixes mistos de fótons e elétrons, sejam usados para irradiar o tumor, existem situações nas quais o tratamento é feito exclusivamente por feixe de elétrons.

• Micose Fungóide

Irradiação total com elétrons. Para micose fungóide, o volume-alvo é essencialmente toda a pele do paciente a ser tratada na profundidade de 1 cm. Embora técnicas de se movimentar sejam usadas, variações da técnica de Stanford, na qual múltiplos campos grandes são usados, são mais comuns. O paciente é posicionado e tratado com

6 campos, de modo que toda a pele seja exposta. Proteção para os olhos, couro cabeludo (se não envolvido), e unhas devem ser utilizadas.

• Câncer de Pele

A maioria dos tumores de pele, como por exemplo, o de célula básica e o de célula escamosa, são mais facilmente tratados cirurgicamente. A radioterapia é uma escolha de tratamento em lesões com áreas cosmeticamente críticas de cirurgia, usando feixes de elétrons, braquiterapia ou raios X de ortovoltagem.

Deve-se primeiro estabelecer o volume a ser tratado (alvo), a espessura e a extensão do tumor, garantindo uma margem de segurança visível ou palpável. A escolha da energia do feixe é escolhida tal que a isodose específica envolva o volume-alvo. Geralmente é escolhido o nível entre 80% a 90% da D_{máx}. Lesões com menos de 2 cm de espessura devem ser irradiadas com elétrons de 6 MeV. Lesões mais profundas requerem energias mais altas.

Cuidado deve ser tomado ao considerar o tumor próximo à superfície. Bolus são requeridos para aumentar a dose na superfície. Entretanto quando os bolus são adicionados, a dose liberada na profundidade é reduzida, requerendo o uso de um feixe de maior energia.

Na seleção do tamanho de campo deve-se considerar a extensão lateral da isodose escolhida para liberar a dose terapêutica.

• Câncer da Mucosa do Lábio

São melhores tratados cirurgicamente. Lesões extensas são curáveis com radiação. A evolução do volume da lesão e o cuidado na escolha da energia do feixe de elétrons, tamanho de campo e posicionamento são essenciais para o tratamento. Proteções para gengiva, dentes e estruturas da cavidade oral são importantes.

• Linfoma Orbital

Lesões conjuntivas são melhor tratadas com elétrons de 12 MeV, usando um campo anterior com cristalino bloqueado com aproximadamente 12mm de espessura, e posicionado a 1 cm da córnea.

No tratamento de doença retrobulbar e paraocular, elétrons de alta energia, entre 16 e 20 MeV devem ser utilizados. Para doença unilateral, um campo lateral ou oblíquo lateral é suficiente. Para doença bilateral, necessita-se do uso de campos opostos laterais. Uma mistura de

fótons e elétrons pode também ser usada para lesões que precisam de um planejamento mais elaborado.

A diminuição lacrimal é esperada para a maioria dos pacientes.

• **Carcinoma de cavidade oral**

Feixes de elétrons são também utilizados no tratamento intraoral de muitos carcinomas de base da boca, região de mobilidade da língua e lesões superficiais do pálate mole, pilar anterior e posterior da amígdala, mucosa bucal e gengiva. A escolha da energia é em torno de 6 a 12 MeV. A imobilização do paciente é essencial.

Doença de *Bulky* é melhor tratada com a combinação de fótons e elétrons .

• **Linfomas cervicais**

Irradiação dos linfomas cervicais com doença subclínica ou microscópica pode efetivamente reduzir a ocorrência de metástases em linfonodos.

A irradiação unilateral do pescoço que é livre de doença (por palpação ou TC) é indicada se o câncer primário da cabeça e pescoço é bem diferenciado e está limitado em um alcance lateral até a linha média. Lesões orais com drenagem linfática extensa podem ser irradiadas pelos dois lados do pescoço.

A energia do feixe de elétrons a ser usado depende da avaliação feita pela TC . Na ausência de doença nodal, pode-se usar 12 MeV em campos unilaterais.

• **Irradiação após dissecação do pescoço**

Após a dissecação do pescoço, pode-se irradiá-lo se existe qualquer dúvida de dissecação, particularmente se o tumor for pouco diferenciado ou estava fora da cápsula nodal.

O volume de tratamento e a energia são determinados pela TC e pela avaliação clínica após a cirurgia.

• **Tumor de mama**

Mulheres que tenham removido cirurgicamente a mama e feito dissecação da axila são candidatas a tratamento com elétrons após a cirurgia, dependendo do tamanho e da localização da lesão primária e da posição da axila após dissecação. Se a dissecação da axila não apresentar nódulos positivos ou se for menor que 4, dependendo da localização e do tamanho da

lesão primária (quadrante interno ou acima de 2 cm de diâmetro), é indicada irradiação pós cirurgia para a axila e regiões da mama interna.

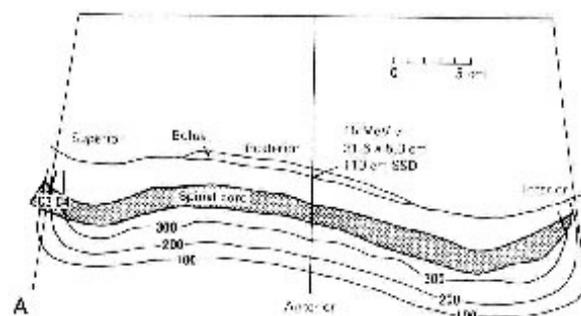
A energia do feixe de elétrons depende da profundidade que se quer irradiar.

Câncer de mama masculino é a única doença na qual a irradiação com feixes de elétrons é indicada para a parede do tórax e linfonodos periféricos. A energia utilizada depende da espessura a ser irradiada.

• **Meduloblastoma**

Por causa da extensão da coluna vertebral ou metástases, a irradiação cranial e da coluna é um procedimento pós operatório para o meduloblastoma. Tradicionalmente a irradiação do eixo cranioespinal é feita com fótons. Irradiação da coluna espinhal com fótons em crianças é afetada por um problema de transmissão de dose para estruturas normais, como por exemplo, tireóide, visceras, coração e pelvis. A irradiação com elétrons minimiza este problema. A figura 16 mostra a distribuição de dose em uma irradiação da coluna. Um bolus na região torácica é colocado para minizar a penetração do feixe de elétrons.

A energia utilizada é de 15 a 20 MeV.



Outros tumores podem também ser tratados como uma combinação de fótons e elétrons. Dentre eles destacamos os tumores de cabeça e pescoço (tumores de glândulas salivares, cavidade oral, trato digestivo, metástases envolvendo linfonodos cervicais), tumores de mama, tumores de colo do útero, tumores de próstata e sarcomas de partes moles.

Aceleradores Lineares

1. Introdução

Este capítulo tem como objetivo fornecer informações básicas sobre o funcionamento dos aceleradores lineares para que as pessoas envolvidas no controle da qualidade destes equipamentos possam preparar os programas de controle mais adequados e fazerem uma avaliação melhor das eventuais falhas que este sistema possa apresentar.

1.1. Processo básico na aceleração dos elétrons.

Nos equipamentos que usam tubos de raios X, a energia máxima disponível fica limitada a algumas centenas de KV devido a problemas principalmente de isolação desta tensão.

Para energia maiores uma das tecnologias disponível é o acelerador linear.

Na figura 1 temos o exemplo de um acelerador simples usando-se corrente continua para a aceleração; basicamente os elétrons serão acelerados enter as placas pela diferença de potencial.

Electrostatic (DC):

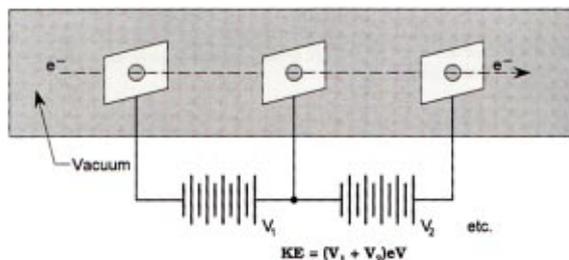


Fig. 1

Na figura 2 substituímos o gerador de tensão continua por um gerador de corrente alternada que se devidamente sincronizado com a velocidade dos elétrons vai proporcionar uma aceleração entre as diversas placas do acelerador.

A idéia de se usar tensão alternada para acelerar partículas carregadas já existia no começo dos anos 20. Uma serie de tubos condutivos é conectada a uma fonte de tensão alternada conforme mostram as figuras seguintes. O elétron é acelerado da esquerda para a direita através do eixo do tubo. O primeiro e o segundo tubo irão proporcionar aceleração para o elétron somente quando ele estiver entre os tubos e não

quando ele estiver dentro do tubo. No momento em que o elétron se encontra dentro do tubo, a tensão tem que ser invertida para que, quando o elétron estiver novamente na borda, entre o segundo e o terceiro tubo, ele encontre novamente tensões favoráveis para a aceleração. Como o elétron esta cada vez mais veloz, o comprimento das placas tem que ser maior para que não se perca o sincronismo, e este é o principio básico de aceleração num tubo de ondas progressivas. Também existem os aceleradores com ondas estacionárias, porém o principio básico de aceleração é semelhante.

Alternating Current (AC):

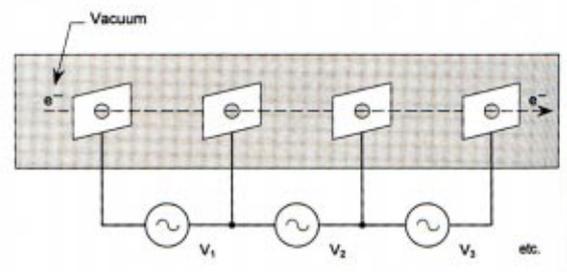
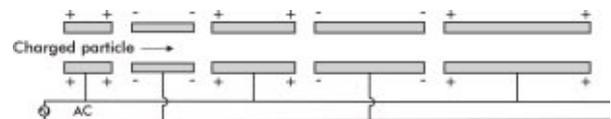


Fig. 2



2. Modulador

Os aceleradores lineares utilizam um circuito tipo modulador que será descrito abaixo:

A principal finalidade do modulador é fabricar um pulso de alta tensão para ser aplicado a um magnetron (ou Klystron), e na maioria dos aceleradores este pulso também é aplicado no gun do tubo acelerador para dar a primeira acelerada nos elétrons .

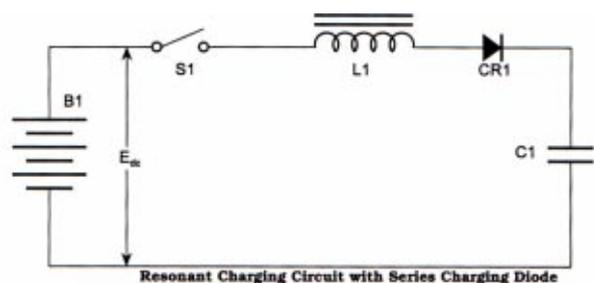


Fig.3: Circuito de carga ressonante com diodo para manter a carga.

Foi acrescentando também uma resistência R2 que dá uma amostra de corrente fornecida pela fonte de alta tensão que dispara um circuito de segurança em caso de corrente mais alta que o normal.

As falhas mais comuns neste tipo de circuito são sem dúvidas nos thyratons, que estão sujeitos a um desgaste. Como os thyratons funcionam como chave, o que ocorre nelas é a possibilidade delas não conduzirem (não fecharem), conduzirem sempre (não abrirem), ou não conduzirem corretamente (mau contato).

A outra falha mais constante é a possibilidade de algum componente perder a isolamento, o que ocasionaria erros que podem ser vistos diretamente ou através do aumento de corrente na resistor R2.

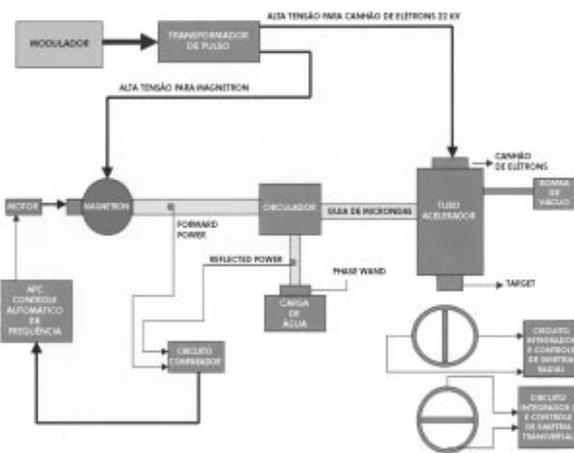


Fig. 9: Tipico acelerador de baixa energia

3. Sistema de Dosimetria

Os aceleradores lineares usam em geral um sistema com duas câmaras de ionização divididas ao meio, conforme figura 9 acima, que possuem duas funções principais: medir a quantidade de radiação fornecida pelo acelerador e controle da simetria do feixe.

Para contagem da dose somamos os sinais das duas metades da camera obtendo o total da radiação emitida pelo acelerador. O canal 1 é usado como principal e o canal 2 como segurança no caso de uma eventual falha do canal 1.

Quando o feixe está simétrico, a quantidade de radiação nas duas metades da câmara serão iguais, e quando subtraídos deverão ser zero. Caso a simetria esteja alterada a diferença não será zero e este sinal poderá ser

utilizado para ativar uma segurança ou um circuito de centragem automática.

3.1. Principais Áreas de um Acelerador Linear (Fig.10)

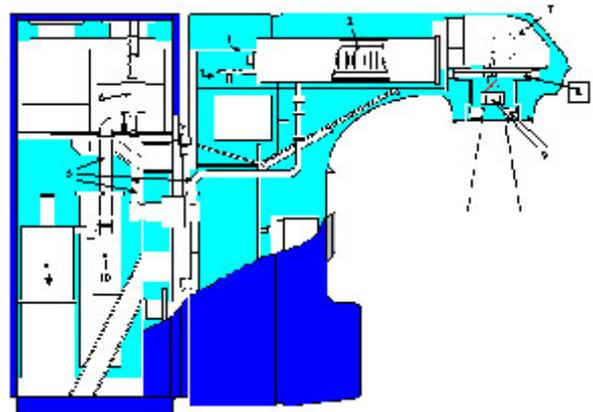


Fig. 10

(1) **Canhão de elétrons** – Área responsável pela geração dos elétrons que serão acelerados.

(2) **Tubo acelerador**- Estrutura que acelera os elétrons até a velocidade (energia) desejada.

(3) **Bomba iônica de vácuo**- Área responsável por manter o vácuo em toda a estrutura aceleradora.

(4) **Circuito de rádio-freqüência**- Neste exemplo podemos ver uma klystron, porém poderíamos usar uma magnetron, dependendo da energia desejada.

(5) **Guia de onda**- Estrutura usada para transportar a rádio-freqüência até o tubo acelerador.

(6) **Circulador e carga de água**- Componentes responsáveis pela absorção da onda de rádio-freqüência que não é absorvida pelo tubo acelerador.

(7) **Desviação**- Componente responsável pelo direcionamento do feixe de elétrons através de 270 graus de curvatura para a área do colimador.

(8) **Carrossel**- Área responsável pela colocação do correto filtro equalizador para fótons ou do correto filtro espalhador para elétrons.

(9) **Colimadores**- Área responsável pela definição do campo a ser tratado.

(10) **Circuito de água**- Responsável pela circulação de água em todo o equipamento com o intuito de refrigerar as diversas áreas do equipamento.