

O impacto financeiro da incorporação das técnicas de IMRT e RapidArc™ no cálculo de blindagem de um acelerador linear

The financial impact of the incorporation of IMRT and RapidArc™ techniques on shielding calculation of a linear accelerator

Maíra R. Santos, Thiago B. Silveira, Paulo L. Garcia, Cássia Trindade, Laís P. Martins e Delano V. S. Batista

Instituto Nacional do Câncer (INCA) – Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

Resumo

Diante da nova metodologia introduzida no cálculo de blindagem devido às novas técnicas moduladas no tratamento de radioterapia, torna-se necessário avaliar o impacto da mudança na rotina dos aceleradores com o uso destas técnicas. Baseado em um grupo de 30 pacientes do Instituto Nacional do Câncer (INCA), foi estabelecido o fator da carga de trabalho para radioterapia de intensidade modulada (fator IMRT) e fator de RapidArc™ (fator RA) para radiação de fuga do cabeçote. Foram propostas quatro rotinas diferentes em um acelerador genérico de 6MV para estimar o impacto da carga de trabalho com essas correções sobre o custo de construção da barreira secundária. Os resultados indicam que, caso 50% dos pacientes sejam tratados com IMRT, a barreira secundária torna-se 14,1% mais cara, em comparação com a totalidade de tratamentos conformacionais. Enquanto a mesma proporção com RA leva a uma barreira 3,7% mais cara. Mostrando que o RA pode, além de reduzir o tempo de tratamento, aumentar a proporção de pacientes tratados com técnica modulada, sem aumentar custo da barreira, quando comparado com IMRT.

Palavras-chave: proteção radiológica, radioterapia, blindagem contra radiação IMRT, radioterapia conformal.

Abstract

Given the new methodology introduced in the shielding calculation due to recent modulated techniques in radiotherapy treatment, it became necessary to evaluate the impact of changes in the accelerator routine using such techniques. Based on a group of 30 patients from the National Cancer Institute (INCA) the workload multiplier factors for intensity modulated radiotherapy (IMRT factor) and for RapidArc™ (RA factor) were established. Four different routines in a 6 MV generic accelerator were proposed to estimate the impact of these modified workloads in the building cost of the secondary barriers. The results indicate that if 50% of patients are treating with IMRT, the secondary barrier becomes 14,1% more expensive than the barrier calculated for conformal treatments exclusive. While RA, in the same proportion, leads to a barrier only 3,7% more expensive. Showing that RA can, while reducing treatment time, increase the proportion of patients treated with modulation technique, without increasing the cost of the barrier, when compared with IMRT.

Keywords: radiation protection, radiotherapy, shielding against radiation IMRT, conformal radiotherapy.

Introdução

O tratamento em radioterapia com uso de técnicas moduladas, *Intensity Modulated Radiation Therapy* (IMRT) e *Volume Modulated Radiation Therapy* (VMAT), está em ascensão desde o seu desenvolvimento, na década de 90. A partir de então, vários parâmetros mecânicos e dosimétricos dos aceleradores lineares foram aprimorados para se adaptarem a evolução tecnológica das técnicas. A inclusão destas técnicas moduladas na rotina clínica dos serviços de radioterapia modificou o perfil dos tratamentos, seja pelo

aumento no número de campos, pela distribuição mais homogênea nas angulações do *gantry*, pelo aumento nas unidades monitoras ou pela maior preocupação com a garantia de posicionamento. Por este motivo, torna-se importante avaliar, entre outros fatores, a blindagem das salas de tratamento que executam estas técnicas.

As premissas tradicionais para cálculo de blindagem estabelecidas pelo NCRP #49¹ foram reavaliadas para os casos de técnicas moduladas². Historicamente, observou-se, no Serviço de Radioterapia do Instituto Nacional do Câncer (INCA), que o número de unidades monitoras (UM) por

dose (cGy) entregue no isocentro para as técnicas moduladas pode ser expressivamente maior que para técnica conformacional. Devido a esse número de UM maior, o tratamento de cada paciente consome mais tempo de máquina e, por consequência, maior será a radiação de fuga do cabeçote. Ao se considerar este comportamento, torna-se necessário reavaliar o cálculo de barreira secundária dos aceleradores que empregam técnicas moduladas.

O NCRP #51³ de 1977 amplia a metodologia do *Report* N° 49 até energias nominais de 100 MV e acrescenta os requisitos de cálculo para porta, labirinto e *skyshine*. Mas somente em 2005 foi lançado o NCRP #151² que reúne todos os dados dos *Reports* anteriores e acrescenta observações importantes sobre técnicas moduladas, estabelecendo os fatores multiplicativos a serem usados na carga de trabalho para barreira secundária.

Através da metodologia expressa por este último documento, o presente trabalho avaliou, para diferentes cenários, o cálculo de blindagem das barreiras secundárias de um acelerador genérico de 6 MV, estimando financeiramente o impacto da inserção das técnicas de IMRT e VMAT.

Materiais e Métodos

Rotinas de Tratamento

Com o objetivo de avaliar o impacto das técnicas moduladas nas barreiras de uma sala de tratamento, foram elaboradas quatro rotinas de tratamento. A primeira delas com 100% dos pacientes sendo tratados com técnica conformacional (3D). A segunda rotina possui 50% dos pacientes tratados com conformacional e os 50% restantes com IMRT. A terceira rotina foi elaborada na mesma proporção que a anterior, porém com VMAT no lugar do IMRT. A última rotina foi elaborada com 20% dos pacientes tratados com a técnica conformacional, 40% com IMRT e 40% com VMAT. Esta última aproxima-se mais da realidade de um serviço de radioterapia que emprega alta tecnologia.

Determinação do fator IMRT e RapidArc™ e Cargas de trabalho

A determinação dos fatores foi realizada considerando trinta pacientes tratados no acelerador linear Trilogy (Varian Medical Systems, Palo Alto, CA), utilizando o colimador multi-lâminas modelo Millennium 120 e taxas de dose variando de 400 a 600 UM/min, submetidos ao tratamento com a técnica de RapidArc™ (RA) (nome comercial empregado pelo fabricante para sua técnica VMAT). As unidades monitoras referentes às técnicas de IMRT e conformacional foram obtidas através de simulação computacional, seguindo os protocolos institucionais de planejamento, abordando as mesmas estruturas delineadas e mantendo a prescrição original. Deve-se ressaltar que os planejamentos em IMRT foram feitos com a modalidade *sliding*

window e todos os planejamentos foram realizados no Eclipse™ (Varian), versão 8.6.

Para a determinação dos fatores, foram escolhidos trinta pacientes tratados no INCA sem pré-seleção quanto a sítio de tratamento, dose, fracionamento ou finalidade do tratamento (radical ou paliativo). Esta escolha foi realizada para que o fator representasse o grupo de pacientes atendidos no Instituto, sem preferir casos mais específicos.

Dentre a seleção de pacientes para o presente estudo, quatorze deles eram de cabeça e pescoço, dez de canal anal, cinco de próstata e o último se tratava de um linfoma. Logo, os casos de cabeça e pescoço e canal anal tiveram forte influência no valor final obtido para os fatores de correção da carga de trabalho.

O primeiro passo foi determinar a média da razão de unidades monitoras por dose diária para cada técnica. O fator IMRT e RA foi determinado através da razão entre a média de UM/cGy das técnicas moduladas e a média correspondente para a técnica conformacional.

Segundo o documento base para o presente trabalho², as técnicas moduladas e o tratamento conformacional são similares quanto à dose absorvida no paciente e possuem doses por fração semelhantes (cerca de 200 cGy/dia). Por isso, as técnicas moduladas não interferem no cálculo de barreira primária. Entretanto, a contribuição da radiação de fuga na carga de trabalho é significativamente maior, por esse motivo a necessidade do uso de um fator IMRT e RA que seja multiplicativo no cálculo básico de carga de trabalho, como descrito pela Equação 1. Onde f é o fator IMRT definido pelo NCRP #151².

$$W = f \cdot \frac{\overline{Dose}}{Campos} \cdot \frac{Campos}{pacientes} \cdot \frac{pacientes}{dias} \cdot \frac{dias}{semana} \quad (1)$$

A partir da sugestão do NCRP #151² de uma carga de trabalho $W=1000$ Gy/sem para cálculos conservativos de tratamentos conformacionais, calcularam-se as cargas de trabalho específicas de cada rotina proposta. Vale ressaltar que, neste valor de W , estão inseridos 200 Gy/sem referentes às práticas dosimétricas. Logo, o fator IMRT e RA obtidos foram aplicados apenas sobre o percentual da carga de trabalho referente à irradiação do paciente. Para a primeira rotina, utilizando somente técnica conformacional, foi adotada a carga de trabalho sugerida pela literatura, 1000 Gy/semana.

Como recomendado pela literatura², os fatores IMRT e RA foram utilizados como correção da carga de trabalho apenas para cálculo da contribuição da radiação de fuga do cabeçote, enquanto o cálculo para contribuição da radiação espalhada manteve-se inalterado.

Cálculo das Barreiras Secundárias

Para que o cálculo fosse realizado, foi utilizada como referência a planta baixa apresentada na Figura 1, de onde foi possível retirar as distâncias dos pontos de cálculo e a classificação das áreas adjacentes como livre ou controlada.

A partir desta referência, foram definidas sete barreiras secundárias a serem calculadas. Os dados de cálculo das barreiras estão presentes na Tabela 1. É preciso lembrar que “U” representa o fator de uso da máquina na direção corresponde à barreira e “T” representa o fator ocupação de cada área a que as barreiras blindam.

Foi escolhido um acelerador genérico de 6 MV para os cálculos das barreiras. Para cada uma delas, foi realizado o cálculo de fuga usando a carga de trabalho corrigida e o cálculo de radiação espalhada sem o uso do fator. Foi considerado o concreto convencional de densidade 2,35 g/cm³. Calculou-se também a espessura das barreiras secundárias através da metodologia de otimização, utilizando um valor estimado de US\$ 420,00 pelo metro cúbico. Os valores de camada deci-redutora (TVL) utilizados no presente trabalho estão listados na Tabela 2.

Análise dos dados

Com as espessuras definidas pelo cálculo de blindagem e tendo conhecimento das dimensões das paredes internas da sala, definiu-se o volume de cada barreira.

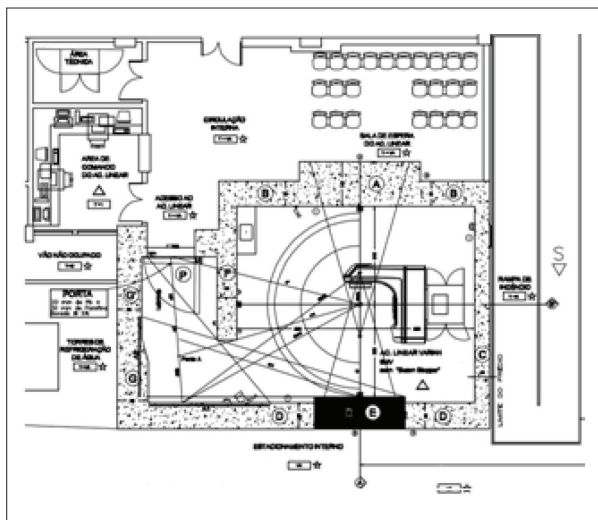


Figura 1. Layout do acelerador e áreas vizinhas consideradas no cálculo das barreiras de blindagem.

Tabela 1. Valores para o cálculo da espessura das barreiras.

	Limite (Sv)	Distancia (m)	U	T
1	2.10 ⁻⁵	4,5	1	1/4
2	2.10 ⁻⁵	26,0	1	1
3	2.10 ⁻⁵	15,0	1	1/4
4	1.10 ⁻⁵	6,1	1	1/4
5	2.10 ⁻⁵	7,2	1	1/8
6	2.10 ⁻⁵	3,6	1	1/8
7	2.10 ⁻⁵	7,3	1	1

Tabela 2. TVL's utilizados para o cálculo³.

	Fuga do cabeçote - (6 MV)	Feixe espalhado a 90° - (@0,2 a 0,3 MeV)
TVL _{eq}	29,0 cm	17,0 cm
TVL ₁	34,0 cm	17,0 cm

Com o volume final das barreiras em mãos, calculou-se o custo de construção final para cada rotina proposta.

Para a comparação entre as rotinas, tomou-se o custo total da primeira proposição (com todos os tratamentos conformacionais) como o valor de referência. Pôde-se, então, estabelecer o acréscimo de custos que as técnicas moduladas embutem na construção das barreiras secundárias.

Resultados

Ao analisar os dados dos planejamentos para a determinação dos fatores de correção da carga de trabalho, pode-se observar que a relação de UM/cGy para a técnica de IMRT é bem superior às demais para todos os sítios de tratamento (Figura 2).

As médias obtidas de UM/cGy para as três técnicas de tratamento e os fatores de correção de IMRT e RA calculados são apresentados na Tabela 3.

Os fatores IMRT e RA encontrados foram arredondados para 6 e 2, respectivamente, durante realização dos cálculos de blindagem. Assim, partindo da carga de trabalho para o cálculo conservativo de 800 Gy/sem referente aos pacientes acrescido de 200 Gy/sem referente à dosimetria, foi possível estabelecer a carga de trabalho para as quatro rotinas definidas. Para a primeira rotina manteve-se W=1000 Gy/sem. Para a segunda, terceira e quarta rotinas foram calculadas cargas de trabalho de 3000 Gy/sem, 1400 Gy/sem e 2920 Gy/sem, respectivamente.

A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados para o cálculo de custo das sete barreiras secundárias e custo total para cada rotina proposta.

Quanto ao custo final das barreiras secundárias de cada rotina, é possível identificar que a segunda rotina, com 50% de tratamentos em IMRT, tem custo 14,1% maior que as barreiras calculadas somente para tratamento 3D.

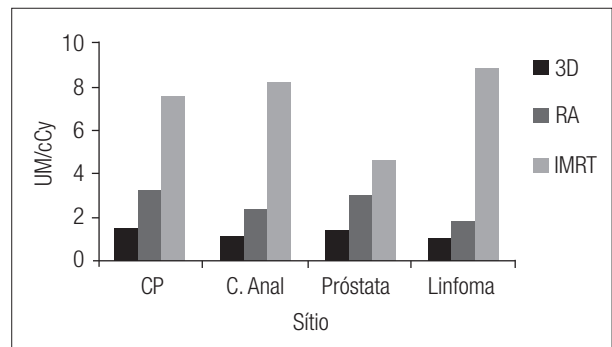


Figura 2. UM/cGy por técnica para os diferentes sítios de tratamento.

Tabela 3. Determinação do fator IMRT e RA.

	3D	IMRT	RA
Média (UM/cGy)	1,33	7,63	2,72
Fatores		5,75	2,05

Tabela 4. Custo calculado para as barreiras.

Barreiras	Custo das Barreiras Secundárias (US\$)			
	3D	3D/IMRT	3D/RA	3D/IMRT/RA
1	5.213,67	5.470,08	5.042,73	5.427,345
2	5.800,41	6.802,95	6.158,46	6.731,34
3	7.863,24	9.059,82	8.205,12	9.059,82
4	4.753,98	4.753,98	4.317,39	4.753,98
5	4.197,27	4.941,09	4.409,79	4.941,09
6	5.157,07	5.917,06	5.428,50	5.917,06
7	5150,14	6565,02	5999,07	6565,02
Total	38.135,79	43.510,05	39.561,06	43.395,66

Enquanto isso, as barreiras para a rotina com 50% de tratamentos com RapidArc™ obteve custo 3,7% maior que as barreiras da rotina conformacional.

Por fim, a última rotina, com apenas 20% dos tratamentos conformacionais e 80% de técnicas moduladas (40% para IMRT e 40% para RapidArc™), obteve custo total 13,8% maior que a rotina de técnica conformacional.

Discussões

O fator IMRT obtido no presente estudo condiz com a literatura citada pelo NCRP #151, que considera que este pode ter valores entre 2 e 10.

A estatística de unidades monitoras para as duas modalidades de tratamento modulado indicam diferenças consideráveis, sendo o RapidArc™ mais eficiente. Observou-se também que a diferença entre as unidades monitoras do IMRT para o RapidArc™ são mais acentuadas para os casos de cabeça e pescoço e canal anal, e menos relevantes para os planejamentos de próstata. Ou seja, o perfil de distribuição dos sítios de tratamento de cada serviço impacta significativamente no cálculo dos fatores de correção da carga de trabalho e na espessura das barreiras secundárias.

O resultado obtido na quarta rotina (3D/IMRT/RA), comparado com a segunda (3D/IMRT), mostra que o aumento proporcional de pacientes tratados com técnica modulada, de 50% para 80%, não trouxe aumento no

custo da blindagem. Indicando que a técnica de RapidArc™ permite tratar um maior número de pacientes com técnica modulada com menor impacto na espessura das barreiras. Dado interessante para os serviços que já empregam IMRT e pensam em adquirir o RapidArc™, pois os mesmos poderiam aumentar o número de pacientes tratados sem se preocupar com acréscimos de blindagem.

Conclusão

A diferença de custo encontrada no cálculo das barreiras secundárias corrobora a expectativa inicial do trabalho, mostrando que o IMRT contribui muito para a radiação de fuga do cabeçote. Concluiu-se também que o RapidArc™ consegue promover a mesma entrega de dose com um número de unidades monitoras, em média, três vezes menor.

O RapidArc™ permite um aumento proporcional de pacientes tratados com técnica modulada sem acréscimo de custo massivo na blindagem do acelerador. Ou uma redução de custos de, aproximadamente, 10% na construção das barreiras secundárias quando comparado ao IMRT.

Deve-se ressaltar que estes resultados integram um estudo mais amplo, ainda em andamento, que analisará a forma como a técnica de RapidArc™ interfere no fator de uso da máquina e no tempo efetivo de tratamento dos pacientes.

Referências

1. National Council on Radiation Protection and Measurements – NCRP. NCRP 49. Structural shielding for medical use of x rays and gamma rays of energies up to 10 MeV. Washington, DC: National Council on Radiation Protection design and evaluation and Measurements; 1976.
2. National Council on Radiation Protection and measurement – NCRP. NCRP 151. Structural Shielding Design and Evaluation for Megavoltage X- and Gamma-Ray Radiotherapy Facilities. Washington, DC: National Council on Radiation Protection and Measurements; 2005.
3. National Council on Radiation Protection and Measurements – NCRP. NCRP 51. Radiation protection design guidelines for 0.1–100 MeV particle accelerator facilities. Washington, DC: National Council on Radiation Protection and Measurements; 1977.