

Verificação dosimétrica de tratamentos de IMRT utilizando câmara de ionização, filme radiográfico e função gama

Dosimetric verification of IMRT treatments using ionization chamber, radiographic film and gamma function

Tatiana M. M. T. Alves, Thais M. Casagrande, Wellington F. P. Neves-Júnior, Anselmo Mancini, Edilson L. Pelosi, Cecília M. K. Haddad e João L. F. Silva

Setor de Radioterapia da Sociedade Beneficente de Senhoras Hospital Sírio-Libanês – São Paulo (SP), Brasil.

Resumo

Este trabalho teve por objetivo avaliar o método adotado para o controle de qualidade de planejamentos de radioterapia com intensidade modulada do feixe (IMRT) por meio da verificação das distribuições de dose medidas e planejadas, analisando a concordância dos resultados com os critérios de aceitação previamente estabelecidos. No sistema de planejamento, o plano completo do paciente foi transferido à tomografia de um fantoma simulador de pelve ou de cabeça e pescoço (CP), composto por placas de polimetilmetacrilato com encaixe para câmara de ionização e para filme radiográfico em plano coronal. A dose medida com câmara de ionização e a distribuição relativa de dose obtida com o filme foram comparadas com o planejamento. A comparação entre as distribuições de dose medida e planejada foi feita com função gama (γ), avaliando a porcentagem de pontos que respeitam os critérios de 3% de diferença de dose e 3mm de distância para concordância. Após o estabelecimento dos critérios de aceitação com base nos resultados médios de 111 planejamentos, os mesmos foram verificados em 30 novos casos. Os critérios de aceitação foram: $1,8\% \pm 1,4\%$ (próstata), $2,7\% \pm 1,9\%$ (CP) e $2,1\% \pm 1,7\%$ (outros) para os erros absolutos médios entre as doses prevista pelo sistema de planejamento e medida com câmara de ionização e $97,2\% \pm 2,8\%$ (próstata), $95,2\% \pm 3,3\%$ (CP) e $92,3\% \pm 7,4\%$ (outros) para a porcentagem média de concordância ($\gamma \leq 1$) entre as distribuições relativas de dose. Os novos casos analisados apresentaram erros absolutos médios de $1,1\% \pm 1,2\%$ (próstata), $2,2\% \pm 1,5\%$ (CP) e $1,6\% \pm 1,2\%$ (outros) e porcentagem média de concordância de $98,3\% \pm 1,0\%$ (próstata), $95,2\% \pm 2,3\%$ (CP) e $96,7\% \pm 2,9\%$ (outros). Os critérios de aceitação concordam com os adotados por outros autores e foram respeitados pelos planejamentos verificados posteriormente. Concluímos que os critérios de aceitação estabelecidos são apropriados para a realidade de nossa instituição, possibilitando tratar os pacientes com acentuada segurança.

Palavras-chave: radioterapia de intensidade modulada; controle de qualidade; dosimetria.

Abstract

This study aimed to evaluate the method adopted for patient specific intensity modulated radiotherapy (IMRT) quality assurance through the verification of planned and measured dose distributions and analyzing the correlation of the results with the acceptance criteria previously established. In the planning system, the patient's complete plan is transferred to the computed tomography images of a pelvis or head and neck (HN) phantom composed of slabs of polymethylmethacrylate with an ionization chamber and radiographic film in the coronal plane. The dose measured with the ionization chamber and the dose distribution obtained with the film were compared with the planning. The comparison between measured and planned dose distributions was performed using the gamma function (γ), assessing the percentage of points that meet the criteria of 3% dose difference and 3mm distance to agreement. By the previous analysis of 111 plans an acceptance criteria was defined based on the average results and after that they were applied on 30 new cases. The acceptance criteria were: $1.8\% \pm 1.4\%$ (prostate), $2.7\% \pm 1.9\%$ (HN) and $2.1\% \pm 1.7\%$ (others) for the mean absolute errors between the doses provided by the planning system and those measured with the ionization chamber. The criteria for the average percentage of agreement ($\gamma \leq 1$) between the dose distributions was $97.2\% \pm 2.8\%$ (prostate), $95.2\% \pm 3.3\%$ (HN) and $92.3\% \pm 7.4\%$ (others). The new analyzed cases showed mean absolute errors of $1.1\% \pm 1.2\%$ (prostate), $2.2\% \pm 1.5\%$ (HN) and $1.6\% \pm 1.2\%$ (others) and average percentage of agreement of $98.3\% \pm 1.0\%$ (prostate), $95.2\% \pm 2.3\%$ (HN) and $96.7\% \pm 2.9\%$ (others). The acceptance criteria agreed with other authors and were respected by the planning verified posteriorly. We conclude that the established acceptance criteria are appropriate for the reality of our institution, and we are able to treat the patients safely.

Keywords: intensity-modulated radiotherapy; quality control; dosimetry.

Introdução

Os planejamentos de radioterapia com intensidade modulada do feixe (IMRT) constituem planejamentos inversos que utilizam fluências não-uniformes para gerar isodoses altamente conformadas e, assim, melhorar a distribuição de dose nos volumes-alvo e poupar tecidos normais e órgãos de risco¹.

Esses planejamentos demandam controle de qualidade extremamente rigoroso e específico, principalmente porque:

- o planejamento inverso é um processo de cálculo automatizado que gera distribuições de dose altamente complexas;
- o desempenho do acelerador é essencial para o sucesso do tratamento;
- os gradientes de dose podem ser muito grandes e, portanto, os erros são críticos e
- a dose em um ponto não caracteriza a composição final da distribuição.

O controle de qualidade de planejamentos específico por paciente constitui um processo fundamental para a segurança dos tratamentos com IMRT, pois analisa todas as etapas, desde o planejamento até a entrega da dose, incluindo as particularidades de cada planejamento.

Vários métodos podem ser utilizados para realizar o controle de qualidade de IMRT específico por paciente². O método adotado neste trabalho envolveu a medida da dose em um ponto de um fantoma com uma câmara de ionização, juntamente com a obtenção de um plano de distribuição de doses com filme radiográfico. Os resultados foram comparados àqueles previstos pelo sistema de planejamento para verificar a segurança do processo.

A função gama³ (γ) foi a ferramenta adotada para a comparação entre as distribuições de dose medida e planejada. Ela combina diferença de dose – importante em regiões de baixo gradiente – e distância para concordância – importante em regiões de alto gradiente – em uma análise simultânea e quantitativa do grau de concordância entre o que foi planejado e o que foi medido.

A função gama é dada pela fórmula:

$$\gamma_r(\vec{r}_c, D_c) \equiv \sqrt{\frac{\Delta r^2}{\Delta d_M^2} + \frac{\Delta D^2}{\Delta D_M^2}} \leq 1 \quad (1)$$

sendo

$$\Delta r = \left| \vec{r}_r - \vec{r}_c \right| \quad (2)$$

a distância entre o ponto de referência \vec{r}_r e o ponto comparado \vec{r}_c ,

$$\Delta D = D_c(\vec{r}_c) - D_r(\vec{r}_r) \quad (3)$$

a diferença entre a dose D_c no ponto comparado \vec{r}_c em relação à dose D_r no ponto de referência \vec{r}_r e ΔD_M e Δd_M os critérios de aceitação para a diferença de dose e a distância para concordância, respectivamente. Sendo

assim, se $0 < \gamma \leq 1$, o ponto respeita os critérios estabelecidos e é considerado aprovado. Caso contrário, se $\gamma > 1$, o ponto não respeita os critérios e é reprovado.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o método adotado em nossa instituição até o primeiro semestre de 2009 para o controle de qualidade de planejamentos de IMRT com câmara de ionização, filme radiográfico e função gama, verificando a concordância dos resultados com os critérios de aceitação previamente estabelecidos.

Material e métodos

No sistema de planejamento Oncentra MasterPlan, o planejamento completo do paciente (mesmos ângulos de gantry, mesmos segmentos e mesmos valores de unidades monitoras) foi transferido à tomografia de um fantoma, composto por placas de polimetilmetacrilato com encaixe para câmara de ionização em região central e para filme radiográfico em plano coronal. O isocentro foi posicionado no fantoma de modo que o volume sensível da câmara ficasse em região de dose homogênea – geralmente a região do volume-alvo de maior dose – diminuindo as incertezas de sua leitura.

As medidas foram feitas nos aceleradores lineares Siemens KD2 ou PRIMUS, utilizando a técnica step-and-shoot, fantasmas simuladores de pelve e cabeça e peçoço (CP), câmaras de ionização PTW-23323 (0,1 cm³) e PTW-31014 (0,015 cm³), eletrômetro PTW UNIDOS-E e filme radiográfico de megavoltagem KODAK ECFLM, conforme mostra a Figura 1.

A exposição indicada pela câmara de ionização foi convertida em dose e comparada àquela prevista pelo sistema de planejamento.

O filme radiográfico foi processado, digitalizado com scanner Vidar Sierra Plus e, com a associação de uma curva sensitométrica (densidade ótica em função da dose absorvida), obtemos a distribuição de doses em um plano coronal. A curva sensitométrica foi obtida através de um filme de calibração irradiado com doses conhecidas. Na Figura 2 temos um filme radiográfico obtido para um planejamento de CP e a curva sensitométrica associada a ele.

A comparação espacial das distribuições de dose medida e planejada foi feita no programa OmniPro l'mRT, avaliando a porcentagem de pontos da distribuição com função gama que respeitam os critérios de 3% de diferença de dose e 3mm de distância para concordância. A Figura 3 exemplifica esse processo.

A comparação das distribuições de dose constitui dosimetria relativa. O ponto de normalização escolhido foi o ponto de máximo da distribuição prevista pelo sistema de planejamento e o respectivo ponto no filme radiográfico. Foram considerados na análise apenas os pontos com dose superior a 20% do valor de normalização, para exclusão de radiação espalhada e de fundo. Eventualmente, foram feitas pequenas translações e rotações para melhor sobreposição das distribuições de dose.

Resultados

Os critérios de aceitação para o controle de qualidade de planejamentos de IMRT com câmara de ionização, filme radiográfico e função gama foram estabelecidos com base nos resultados médios de 111 planejamentos, sendo 42 casos de próstata, 34 casos de CP e 35 de outros sítios de tratamento. Tais critérios encontram-se na Tabela 1. Os erros absolutos médios consideram apenas o módulo do desvio, ou seja, não levam em conta se houve subdosagem ou superdosagem da medida em relação ao planejamento.

Em seguida, o controle de qualidade de planejamentos de IMRT foi realizado do mesmo modo para mais 30 casos (Figura 4), a fim de verificar a concordância dos resultados com os critérios de aceitação estabelecidos.

Os resultados obtidos apresentam-se separados por categoria na Tabela 2.

A distribuição dos desvios entre as doses, prevista pelo sistema de planejamento e medida com câmara de ionização encontra-se na Figura 5.

Na Figura 6, encontram-se os resultados para a porcentagem de pontos com $\gamma \leq 1$, ou seja, a porcentagem de concordância entre as distribuições de dose medida e planejada.

4. Discussão e conclusões

Os critérios de aceitação estabelecidos para o controle de qualidade de IMRT com câmara de ionização, filme radiográfico e função gama concordam com critérios adotados por outros autores na literatura¹. Os planejamentos mais

simples – como os de próstata – apresentaram melhores resultados em relação aos planejamentos mais complexos – como os de CP, por exemplo.

As medidas subsequentes respeitaram e apresentaram resultados até mesmo melhores que os critérios de aceitação estabelecidos, provavelmente devido à curva de aprendizado dos operadores. O posicionamento da câmara de ionização em região de dose homogênea,

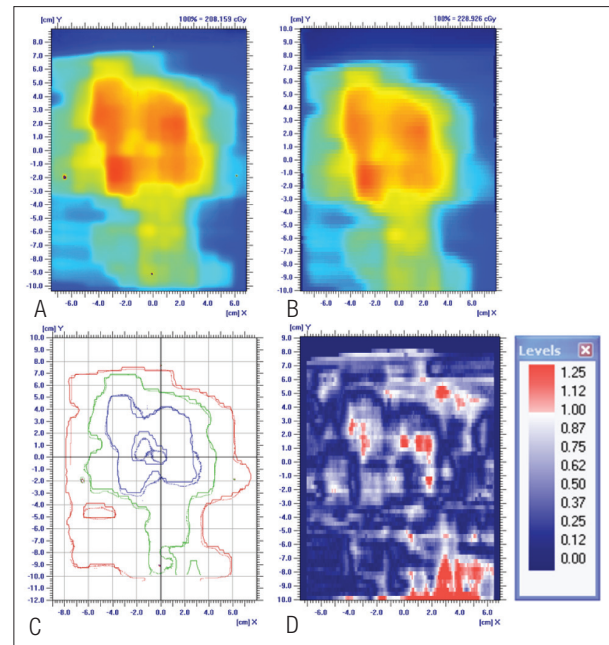


Figura 3. (a) Distribuições de dose medida e (b) prevista pelo sistema de planejamento, (c) sobreposição das isodoses e (d) análise com função gama 3%/3mm, na qual as regiões vermelhas indicam discordância.

Tabela 1. Critérios de aceitação para o controle de qualidade de planejamentos de IMRT

	N	Dosimetria com câmara (erro absoluto)		Dosimetria relativa (pontos com $\gamma \leq 1$)	
		Média (%)	σ (%)	Média (%)	σ (%)
Próstata	42	1,8	1,4	97,2	2,8
CP	34	2,7	1,9	95,2	3,3
Outros	35	2,1	1,7	92,3	7,4

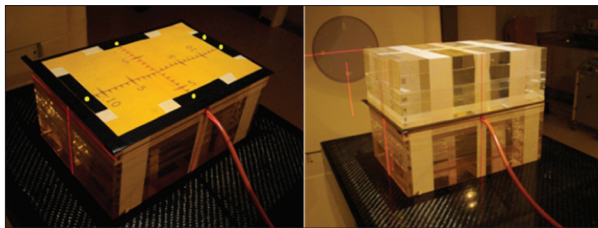


Figura 1. Fantoma simulador de pele, com filme radiográfico e câmara de ionização. Furos no envelope do filme indicam a origem do sistema de coordenadas.

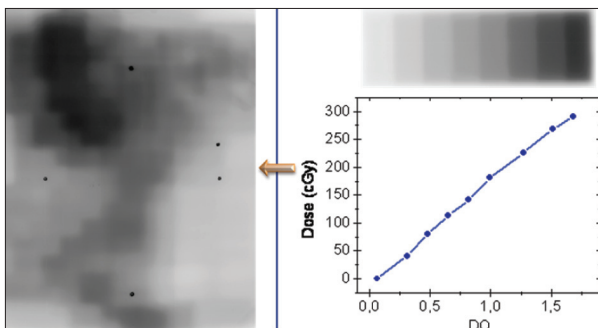


Figura 2. Filme radiográfico obtido para um planejamento de CP e respectiva curva sensitométrica associada a ele.

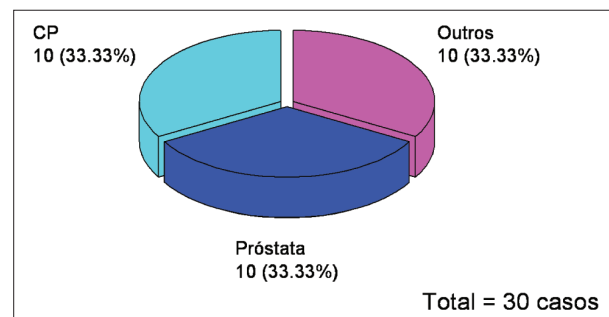


Figura 4. Distribuição dos tipos de planejamentos analisados.

Tabela 2. Resultados para o controle de qualidade de planejamentos de IMRT após estabelecimento dos critérios de aceitação

	N	Dosimetria com câmara (erro absoluto)		Dosimetria relativa (pontos com $\gamma \leq 1$)	
		Média (%)	σ (%)	Média (%)	σ (%)
Próstata	10	1,1	1,2	98,3	1,0
CP	10	2,2	1,5	95,2	2,3
Outros	10	1,6	1,2	96,7	2,9

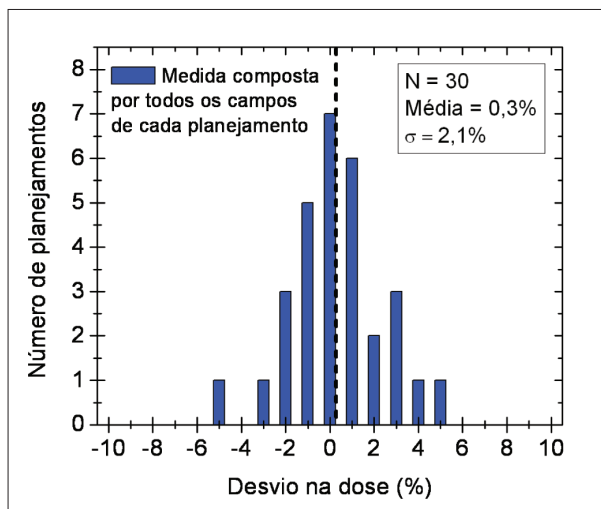


Figura 5. Distribuição dos desvios entre as doses planejada e medida com câmara de ionização. A linha tracejada representa a média da distribuição.

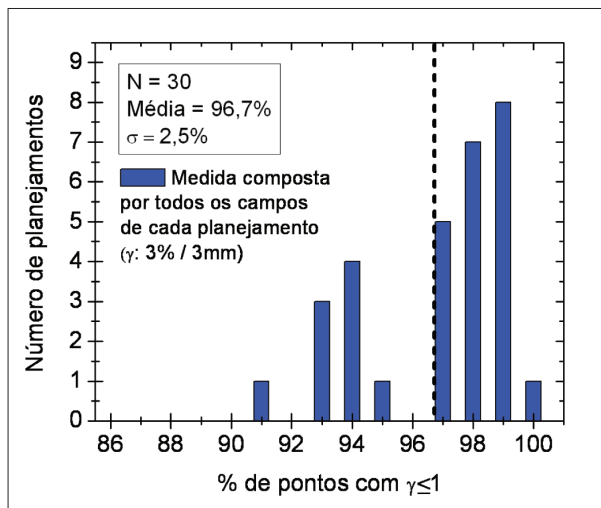


Figura 6. Distribuição da porcentagem de concordância entre as distribuições de dose medida e planejada. A linha tracejada representa a média da distribuição.

por exemplo, constitui uma etapa do processo altamente operador-dependente.

A distribuição dos desvios entre as doses prevista pelo sistema de planejamento e medida com câmara de ionização é semelhante a outros trabalhos publicados^{4,5}, e nos mostra que não há tendências à subdosagem ou à superdosagem em nossa instituição.

Observamos que, na comparação entre as distribuições de dose medida e planejada, regiões com $\gamma > 1$ podem ser consideradas aceitáveis se presentes em pequenas regiões de alto gradiente de dose ou em regiões de baixo gradiente de dose fora do campo modulado, como entradas de feixe, por exemplo.

Se um planejamento de IMRT não é aprovado pelos critérios de aceitação, deve-se, primeiramente, tentar eliminar erros grosseiros, tais como medidas feitas em condições diferentes das planejadas, campos atenuados pelas barras laterais da mesa, problemas com a revelação ou calibração do filme radiográfico, entre outros. Poderá eventualmente ser necessário reposicionar a câmara de ionização em região de melhor homogeneidade de dose e repetir a medida, verificar o sistema de exportação dos dados do planejamento ou o desempenho das lâminas na formação dos segmentos. Em último caso, deve-se considerar a possibilidade de diminuir a complexidade do planejamento, pois assim ele será mais facilmente realizado pelo acelerador linear. Consequentemente poderá haver perda de cobertura dos volumes-alvo ou maior dose em órgãos de risco e a situação deverá ser discutida com o radioterapeuta.

Concluímos que os critérios de aceitação estabelecidos são apropriados para a realidade clínica de nossa instituição, possibilitando tratar os pacientes com acentuada segurança.

A partir do segundo semestre de 2009, o arranjo bidimensional de câmaras de ionização MatriXX Evolution passou a ser o sistema padrão para o controle de qualidade de IMRT em nossa instituição, após uma cuidadosa transição que será relatada em trabalhos futuros.

Referências

1. Webb S. The physical basis of IMRT and inverse planning. Br J Radiol. 2003;76(910):678-689.
2. European Society for Therapeutic Radiology and Oncology. Guidelines for the verification of IMRT. Brussels:2008.
3. Low DA, Harms WB, Mutic S, Purdy JA. A technique for the quantitative evaluation of dose distributions. Med Phys. 1998;25(5):656-61.
4. Agazaryan N, Solberg TD, DeMarco JJ. Patient specific quality assurance for the delivery of intensity modulated radiotherapy. J Appl Clin Med Phys. 2003;4(1):40-50.
5. Dong L, Antolak J, Salehpour M, Foster K, O'Neill L, Kendall R, et al. Patient-specific point dose measurement for IMRT monitor unit verification. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2003; 56(3):867-77.