

Avaliação do algoritmo Pencil Beam e de Monte Carlo com diferentes incertezas para o controle de qualidade em VMAT

Pencil Beam and Monte Carlo algorithms evaluation with different uncertainties for quality control in VMAT

Guilherme B. Santos^{1,2}, Ana C. M. De Chiara², Gabriela R. Santos², Laura N. Rodrigues³

¹Programa de Residência Multiprofissional em Física Médica da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

²Serviço de Radioterapia, Instituto do Câncer do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil.

³Serviço de Radioterapia, Instituto de Radiologia do Hospital das Clínicas de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Resumo

A técnica de tratamento de arcoterapia volumétrica modulada (VMAT) possui a vantagem dosimétrica de melhorar consideravelmente a conformação da distribuição de dose. Contudo, como tal técnica utiliza fluências não uniformes, exige um controle de qualidade (CQ) específico por paciente. Quando são utilizados algoritmos de cálculo baseados em Monte Carlo (MC) neste CQ, o tempo de cálculo se torna muito longo. Desta forma, esse trabalho visa diminuir este tempo, variando os algoritmos de cálculo e a incerteza estatística no algoritmo baseado em MC no CQ por paciente na técnica VMAT. Para verificar a aplicabilidade destes novos cálculos na rotina, foi calculada a média e o desvio padrão da análise gamma bem como a diferença da dose absoluta para 30 casos planejados com 4 diferentes condições: algoritmo MC com incerteza estatística de 2%, 3% e 5%; e algoritmo Pencil Beam (PB). Considera-se a primeira condição como padrão de referência. Também foi registrado o tempo de cálculo e os testes de sensibilidade e especificidade. A análise dos resultados para o algoritmo PB, tanto o desvio padrão da análise gamma como da diferença de dose absoluta se apresentou alto, chegando a ter um desvio padrão de 3,5%, enquanto os outros testes tiveram um desvio de no máximo 2,1%. Em todas as condições com MC, os resultados obtidos, tanto para análise gamma como para a dose absoluta, ficaram semelhantes. No teste de sensibilidade, o PB não apresentou um resultado satisfatório. O cálculo com MC e 3% de incerteza apresentou o melhor resultado de especificidade, enquanto com 5%, o melhor resultado foi de sensibilidade. Caso houvesse uma maior amostragem de dados, a especificidade e sensibilidade para os ambos os casos com MC passariam a ser equivalentes. Logo, o fator determinante é o tempo de cálculo, que foi menor para a incerteza de 5%.

Palavras-chave: Controle de qualidade; radioterapia; Incerteza.

Abstract

The arc therapy modulated volumetric technique (VMAT) has the advantage of considerably improving dosimetric the conformation of the dose distribution. However, it uses non-uniform fluences requiring a specific per patient quality assurance (QA). When used algorithms based on Monte Carlo (MC) calculation are used in the QA, the calculation time becomes excessively long. Thus, this work aims to reduce this time, by varying the algorithms used in the dose calculation as well as estimated statistical uncertainty in the MC algorithm based on the QA per patient in the VMAT technique. In order to verify the applicability of these calculations in the clinical routine, it was calculated the averaged and the standard deviation of Gamma analysis and difference of absolute dose for 30 patients planned in the institution with four different conditions: MC algorithm statistical uncertainty of 2%, 3% and 5%; and algorithm Pencil Beam (PB). The first condition is considered as a standard reference. The time of calculation was also verified, as well as the tests of sensitivity and specificity. The results for the PB algorithm, in terms of both the standard deviation of the Gamma analysis and the absolute dose difference was high, showing a standard deviation of 3.5% whereas in the other tests had a maximum deviation of 2.1%. In all conditions with MC, the results for both the analysis gamma as well for absolute dose were similar. In the sensitivity test, the PB the results were unsatisfactory. The calculation with MC and 3% uncertainty showed the best result of specificity while with 5%, the best result was the sensitivity. With a higher sampling data, the specificity and sensitivity tests for both cases with MC should become equivalent. Thus, the determining factor would be the calculation time, which was lower for the uncertainty of 5%.

Keywords: Quality assurance; radiotherapy; uncertainty.

1. Introdução

A evolução dos equipamentos e softwares na radioterapia possui dois objetivos principais, sendo primeiro, atingir o alvo com melhor exatidão geométrica e dosimétrica e o segundo, poupar os tecidos sadios.

Obtém-se uma melhora dosimétrica na inovação constante dos algoritmos de cálculo de dose. Comercialmente, estão disponíveis nos sistemas de planejamento computadorizados diversos algoritmos,

desde os mais simples, como o Pencil Beam (PB), até os mais complexos e mais próximos da real dose entregue, tais como os baseados na simulação Monte Carlo (MC). Apesar de este último ser o mais indicado (1), pois possui uma melhor precisão para demonstrar a distribuição da dose real dentro de um paciente, demanda um tempo excessivo para sua execução.

Uma tecnologia desenvolvida no início dos anos 2000 é a arcoterapia volumétrica modulada (VMAT). Esta técnica melhora consideravelmente a conformação da distribuição de dose.

Contudo, como utiliza fluências não uniformes, exigem um controle de qualidade (CQ) rigoroso e específico por paciente para verificar que a distribuição de dose entregue seja a mesma que a planejada pelo algoritmo (2).

O cálculo do CQ por paciente utilizando algoritmos baseados em MC é uma prática que exige tempo, principalmente para serviços onde há uma grande demanda de pacientes, como é a situação do Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (ICESP), no qual são realizados em média 280 tratamentos por mês, sendo 15% VMAT e os outros 85% são tratamentos feitos utilizando a técnica 3D ou braquiterapia.

Uma maneira de aperfeiçoar este processo é aumentando a incerteza estatística, pois tal prerrogativa diminui o tempo de cálculo. Porém esse parâmetro diminui a exatidão do cálculo de dose. Todavia, há a necessidade de manter a mesma garantia nos resultados obtidos durante a validação da técnica.

O objetivo desse trabalho é variar os algoritmos de cálculo de dose e a incerteza estatística no algoritmo baseado em MC no CQ por paciente na técnica VMAT e verificar a garantia do mesmo através da comparação dos resultados da análise gamma e diferença de dose na câmara de ionização.

2. Materiais e Métodos

Foram escolhidos 30 casos planejados com VMAT de diversos sítios anatômicos, tais como próstata, cabeça e pescoço, endométrio, entre outros. A dose por fração prescrita para o tratamento variou de 1,8 a 2,12 Gy.

Os casos citados anteriormente foram planejados no sistema de planejamento do tratamento (do inglês, *Treatment Planning System (TPS)*) Monaco versão 5.0, Elekta, com feixe de fótons 6 MV, algoritmo de cálculo MC, incerteza de estatística de 3% e grade de cálculo de 3 mm. Esses valores são usados como padrão na instituição para os cálculos dos planejamentos dos tratamentos dos pacientes.

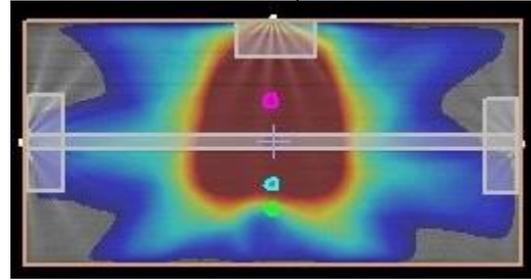
Os respectivos controles de qualidade por paciente foram calculados com o algoritmo MC no TPS e incerteza estatística de 2% e grade de 2 mm (MC2%), que são os valores utilizados como padrão da instituição.

As medidas foram realizadas em um objeto simulador³: tal objeto simulador é constituído de placas de água sólidas que possibilitam inserção da câmara de ionização e filme.

A figura 1 representa um corte axial de um controle de qualidade, de um caso de próstata, utilizando o objeto simulador citado anteriormente.

Para a determinação da dose absoluta, foi utilizada uma câmara de ionização (CI) com volume sensível de 0,125 cm³. Para a verificação da distribuição da fluência, foi empregado o filme radiocrômico EBT3 sendo que a análise gamma (4) foi analisada com os critérios 3% e 3 mm, com análise global, absoluta e normalizada na dose máxima, no programa VeriSoft, PTW®. Estes resultados foram considerados como sendo verdadeiros.

Figura 1- Corte axial do objeto simulador usado nos controles de qualidade.



Fonte: O autor (2016).

Foram recalculados os controles com incerteza estatística de 3% (MC3%) e 5% (MC5%) para MC e com o algoritmo PB. Para todas as condições acima, foi mantida a grade de cálculo de 2 mm. Desta forma, foi reanalisada a distribuição da fluência e a diferença na dose absoluta na CI.

Foi feita a comparação das médias e os desvios padrões das diferenças de dose na CI e dos valores da Análise Gamma. Também foram contabilizados os tempos de cálculo de cada procedimento.

Para verificar a eficácia de cada condição de cálculo em apresentar os resultados verdadeiros da distribuição de dose, foi aplicado o conceito de sensibilidade e especificidade, que são métodos estatísticos de verificação de resultados para distinguir os casos que são realmente verdadeiros e daqueles que não o são.

Sendo a sensibilidade (S) o parâmetro que mede a capacidade do teste de identificar corretamente resultados verdadeiros. Dado pela seguinte expressão (1):

$$S = \frac{VP}{(VP+FN)} \quad (1)$$

A especificidade (E) é o parâmetro que mede a capacidade de excluir corretamente resultados não verdadeiros, sendo calculado da seguinte forma (2):

$$E = \frac{VN}{(VN+FP)} \quad (2)$$

Em que:

VP são os resultados verdadeiros positivos;
VN são os resultados verdadeiros negativos;
FN são os resultados falsos negativos;
FP são os resultados falsos positivos.

Quanto mais próximo de 1 os valores de E e S, mais confiável é o cálculo testado.

No contexto deste trabalho, foram considerados resultados positivos para os testes de Sensibilidade e Especificidade, a diferença de dose com valor entre $\pm 3\%$ e, para análise gama, valores maiores que 97%. Estes vistos como resultados bons na rotina de CQ.

Foram vistos como resultados negativos as diferenças de dose na CI entre as faixas de -5% a -3% e 3% a 5%; para a análise gamma, na faixa entre 95% e 97%. Contudo esses são resultados aceitáveis na rotina de controle CQ.

Valores fora da faixa citada anteriormente são considerados inaceitáveis e estão fora da análise deste estudo

Foram tomados como verdadeiros resultados igualmente classificados como positivos ou negativos em comparação ao cálculo de MC (2%).

3. Resultados

A tabela 1 apresenta a média e o desvio padrão da análise gamma. A diferença de dose na CI está ilustrada na tabela 2, para as diferentes condições de cálculo.

Tabela 1. Resultado da média e o desvio padrão da análise Gamma.

| Algoritmo | Média (%) | Desvio Padrão (%) |
|-----------|-----------|-------------------|
| MC(2%) | 97,0 | 2,30 |
| MC(3%) | 96,9 | 2,30 |
| MC(5%) | 96,8 | 2,40 |
| PB* | 93,9 | 3,50 |

Tabela 2. Resultado da média e o desvio padrão da diferença da dose absoluta.

| Algoritmo | Média (%) | Desvio Padrão (%) |
|-----------|-----------|-------------------|
| MC(2%) | -2,20 | 1,50 |
| MC(3%) | -1,90 | 1,50 |
| MC(5%) | -2,00 | 1,60 |
| PB* | -2,40 | 2,40 |

Na tabela 3, temos a média do tempo de cálculo de CQ para cada caso.

Tabela 3. Resultados da média e desvio padrão de tempo para cada procedimento.

| Algoritmo (Incerteza) | Média (Min) | Desvio Padrão (min) |
|-----------------------|-------------|---------------------|
| MC(2%) | 55 | 13,0 |
| MC(3%) | 31 | 12,7 |
| MC(5%) | 12 | 4,1 |
| PB* | 4 | 1,1 |

Na tabela 4, estão os valores de Sensibilidade e Especificidades encontradas no presente estudo, para análise gama.

Tabela 4. Análise estatística da sensibilidade e da especificidade para análise gama.

| Algoritmo | Sensibilidade | Especificidade |
|-----------|---------------|----------------|
| MC(3%) | 0,93 | 0,80 |
| MC(5%) | 0,93 | 0,87 |
| PB* | 0,13 | 0,80 |

*O algoritmo Pencil Beam não permite variação da sua incerteza.

Na tabela 5 estão os valores de S e E encontrados no presente estudo para a dose na câmara.

Tabela 5. Análise estatística da sensibilidade e da especificidade para a dose na câmara.

| Algoritmo | Sensibilidade | Especificidade |
|-----------|---------------|----------------|
| MC(3%) | 1,0 | 0,92 |
| MC(5%) | 1,0 | 0,83 |

4. Discussão

Com base na análise dos resultados das tabelas 1 e 2, o algoritmo PB teve uma menor concordância em relação ao padrão da instituição, desta forma a sua utilização passa a ser ineficaz tanto para a realização da análise gamma quanto para a dosimetria absoluta. Ao analisar o comportamento do algoritmo MC tanto com a incerteza de 3% ou 5% verifica-se que eles apresentam resultados similares em ambas as análises.

A partir da análise da tabela 3, observa-se que o tempo do PB é bem menor em relação aos outros algoritmos, mas é inviável sua utilização, pois apresentou uma menor concordância com os valores utilizados institucionalmente, como demonstrado nas tabelas 1 e 2. O MC (5%) apresentou uma média de 12 minutos, para a realização do procedimento de cálculo do controle de qualidade, enquanto que o MC com 2% de incerteza, teve uma média de tempo de 55 minutos e o MC 3% de incerteza, teve uma média de tempo de 31 minutos. Sendo assim o MC (5%) apresentou uma menor média de tempo para a realização do procedimento.

Na tabela 4, os resultados estatísticos de especificidade e sensibilidade, vimos que o algoritmo MC (3%) e MC (5%) possuem a mesma sensibilidade. Porém, o MC (5%) tem uma maior especificidade, ou seja, uma maior capacidade de identificar os controles de qualidade que não apresentam resultados bons.

A partir de todos os fatores analisados, mostra-se que o MC (5%) é confiável, quando comparado com o padrão institucional e que trará um grande benefício na diminuição dos tempos de cálculos para os controles de qualidade.

5. Conclusões

A partir da análise dos resultados de todos os fatores estudados, concluímos que o cálculo por PB não pode ser utilizado no CQ por paciente por apresentar resultados considerados ruins. Já os cálculos por MC (3%) e MC(5%) se apresentaram confiáveis quando comparados ao padrão institucional. Contudo o MC (5%) possui menor tempo de cálculo.

Desta forma, MC (5%) pode passar a ser empregado na rotina, pois além de ser confiável, como demonstrado, ele também favorece muito em uma grande rotina de pacientes devido a diminuição de tempo nos cálculos.

Agradecimentos

Agradecimento especialmente ao Ministério da Saúde por auxílio com a bolsa da residência, fazendo que seja possível a realização desse trabalho, ao Instituto do Cancer do Estado de São Paulo, pelo espaço cedido e a ajuda de todos os autores envolvidos.

Referências

- Krieger, T, Sauer, AO. Monte Carlo versus Pencil beam, collapse cone calculation in a heterogeneous multi-Layer phantom. Phys Med Biol. 50, 859 (2005).
- Almeida, CE. Bases físicas de um programa de garantia de qualidade de IMRT. Rio de Janeiro: Centro de Estudos do

Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes /UERJ, 2012. il.; 259 p.

3. IMRT commissioning: Multiple institution planning and dosimetry comparisons, a report from AAPM Task Group 119. Med. Phys. 36,11 November 2009.
4. Low, DA, Dempsey, FJ. Evaluation the gamma dose distribution comparison method. 2003, American Association of Physicists in Medicine.
5. Demarco JJ1, Chetty IJ, Solberg TD. A Monte Carlo tutorial and the application for radiotherapy treatment planning. Med Dosim. 2002 Spring;27(1):43-50.
6. Ma CM1, Li JS, Pawlicki T, Jiang SB, Deng J, Lee MC, Koumrian T, Luxton M, Brain S. A Monte Carlo dose calculation tool for radiotherapy treatment planning. Phys Med Biol. 2002 May 21;47(10):1671-89.
7. N. Reynaert S. van der Marck D. Schaart W. van der Zee M. Tomsej C. van Vliet- Vroegindewij J. Jansen M. Coghe C. De Wagter B. Heijmen. Monte Carlo Treatment Planning. Report 16 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry.
8. Barbara Caccia, Claudio Andenna, Gianluca Frustagliac, Stefano Valentini, Erminio Petetti. Monte Carlo dose calculation in photon beam radiotherapy: a dosimetric characterization.

Contato:

Guilherme Bulgraen dos Santos
Hospital Vila Nova Star - Oncologia D'Or
R. Coronel Camisão, 458. Apartamento 11
E-mail: guilherme.bulgraen@gmail.com