

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FFCLRP – DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA APLICADA À
MEDICINA E BIOLOGIA

**Verificação 3D da distribuição da dose em
radiocirurgia estereotáxica através de simulação
Monte Carlo e dosimetria por ressonância
magnética nuclear**

Mirko Salomón Alva Sánchez

Ribeirão Preto - SP
2012

MIRKO SALOMÓN ALVA SÁNCHEZ

**Verificação 3D da distribuição da dose em
radiocirurgia estereotáxica através de simulação
Monte Carlo e dosimetria por ressonância
magnética nuclear**

Tese apresentada ao Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciência e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Física Aplicada à Medicina e Biologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Nicolucci.

Ribeirão Preto - SP
2012

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

Catálogo da Publicação
Departamento de Física
Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da
Universidade de São Paulo

Alva Sánchez, Mirko Salomón

Verificação 3D da distribuição da dose em radiocirurgia estereotáxica através de simulação Monte Carlo e dosimetria por ressonância magnética nuclear.

Ribeirão Preto, 2012.

184p.:il.; 30 cm

Tese de doutorado, apresentada ao Departamento de Física da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo – Área de concentração: Física Aplicada à Medicina e Biologia.

Orientadora: Prof^a.Dr^a. Patrícia Nicolucci

1. Radiocirurgia Estereotáxica. 2. Distribuição 3D de dose. 3. MAGIC-*f* gel.
4. PENELOPE-Monte Carlo. 5. Filme Radiocrômico EBT2

*Dedico este trabalho:
a meus pais e irmãos,
a minha amada esposa,
a minha nova família, e
especialmente, em memória, a
minha Tia Vilma.*

Agradecimentos

Esse trabalho é fruto de muitas colaborações, assim, gostaria de agradecer as pessoas que cooperaram para que ele fosse possível:

À Deus, por me permitir ser, saber e fazer.

À minha orientadora, Prof^a Dr^a. Patrícia Nicolucci pela orientação, paciência, compreensão, amizade, ensinamentos e confiança depositada em todos esses anos de convívio, desde o mestrado.

À minha esposa, Thatiane, que ficou sempre ao meu lado em todas as etapas desse trabalho, com todo apoio emocional e na ajuda das discussões e correções.

À Dr^a. Cassiana Vicarri de Moares e João pela amizade, incentivo em todos os momentos.

Ao físico do Hospital do Câncer de Barretos, Marcelo Santanna, pela amizade, discussões e possibilidade de realizar as medidas experimentais.

Aos professores do DFM, principalmente ao Prof.^o Dr.^o Oswaldo Baffa Filho e Prof.^o Dr.^o Carlos Ernesto Garrido Salmon, pela colaboração.

Aos funcionários do DFM, principalmente a Aziani e Nilza, pela disponibilidade e suporte técnico.

Aos funcionários do HC do setor de radioterapia, especialmente Dr. Harley e físico Leonardo Amaral, pela colaboração com as irradiações.

Aos funcionários do HC do setor de ressonância magnética pela colaboração com as leituras no tomógrafo.

Aos funcionários do HCB-Barretos, especialmente aos físicos, pela disponibilidade de realizar os procedimentos experimentais.

Aos colegas de grupo pela convivência, incentivo, brincadeiras e companhia sempre indispensáveis.

Aos amigos da faculdade: Moises, Ailton, Lindomar, Lucas Baggio, Jorge, pela amizade, conversas, e brincadeiras.

Aos amigos da ex-república: Gleidson, Glauber e Antonio pela convivência, incentivo, brincadeiras e companhia sempre indispensáveis.

Aos amigos que se somam à lista das minhas amizades, principalmente: Carol e Luis, Karla e Cristiano, Sandra e Deividson, Jonatas e Daniele, Fabio e Milene e Alessandra.

Aos meus amigos da turma de Física da Universidade Nacional de Trujillo-Peru, Lucia, Silvia, Bertha, Edmundo, William, Willard, Melissa, Virginia e Victor pela amizade durante todo o tempo da graduação.

À minha nova família Alves Pianoschi por toda acolhida e compreensão durante o desenvolvimento do doutorado.

Aos meus pais, irmãos, sobrinhos e a toda a minha família, de forma muito especial, mesmo de longe esteve presente todos os dias, incentivando, torcendo pela realização desse trabalho.

À CAPES pelo apoio financeiro.

À USP pela infra-estrutura oferecida.

Resumo

Alva Sánchez, M. S. **Verificação 3D da distribuição da dose em radiocirurgia estereotáxica através de simulação Monte Carlo e dosimetria por ressonância magnética nuclear.** 2012. 184f. Tese (doutorado) – Departamento de Física, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

A radiocirurgia estereotáxica é uma técnica que fornece altas doses de radiação utilizando campos pequenos para conformação da dose no volume alvo do tratamento. Devido à complexidade desta técnica torna-se necessária a verificação da distribuição de dose no volume de tratamento. Neste trabalho, as distribuições tridimensionais (3D) de doses de casos clínicos de neoplasias cranianas foram estudadas utilizando-se um objeto simulador de cabeça. A reconstrução das distribuições de doses nos volumes alvo e nas regiões adjacentes a estes foram avaliadas com o código de simulação PENELOPE, o dosímetro MAGIC-*f* gel e com o sistema de planejamento iPlan®. Filmes radiocrômicos também foram empregados para a determinação das distribuições de dose em planos do tratamento. As respostas obtidas com as ferramentas dosimétricas utilizadas foram analisadas através de distribuições de índices gama, comparando-se os mapas centrais das distribuições de dose obtidas com as quatro ferramentas dosimétricas utilizadas. Usando-se critérios de tolerância de 3% e 3mm, a análise realizada na região da prescrição de dose (isodoses de 95%) mostrou-se equivalente para todas as ferramentas dosimétricas utilizadas; resultado diferente foi observado para isodoses menores, com uma equivalência máxima de 76,5%. As distribuições volumétricas, obtidas através do PENELOPE, MAGIC-*f* gel e o iPlan®, foram comparadas, ainda, através dos histogramas dose-volume, para cada caso estudado, mostrando que 95% da dose absorvida relativa encontra-se dentro do volume alvo para todos os planos estudados. A probabilidade de controle tumoral, TCP, foi avaliada para os casos de radiocirurgia estudados, a partir das distribuições volumétricas de dose, resultando em uma probabilidade de controle tumoral máxima de 72%, para todos os casos, conforme o modelo matemático de TCP utilizado. Das comparações realizadas pode-se inferir que o dosímetro MAGIC-*f* gel e o código de simulação PENELOPE-Monte Carlo podem ser utilizados para determinar as distribuições de dose em 3D para a técnica de radiocirurgia estereotáxica. Essas ferramentas dosimétricas podem, dessa forma, auxiliar no comissionamento de unidades de terapia e em verificações 3D de doses do tratamento dos pacientes, permitindo avaliações dentro e ao redor do volume alvo e podendo se tornar ferramentas de rotina nos serviços de radioterapia.

Palavras-chave: Radiocirurgia Estereotáxica. Distribuição 3D de dose. MAGIC-*f* gel. PENELOPE-Monte Carlo. Filme Radiocrômico EBT2.

Abstract

Alva Sánchez, M. S. **Dose distribution verification in 3D to stereotactic radiosurgery through Monte Carlo simulation and gel dosimetry with nuclear magnetic resonance 2012.** 184f. Tese (doutorado) – Departamento de Física, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2012.

Stereotactic radiosurgery is a technique which delivers high radiation doses using small fields to conform the absorbed dose into the target volume. Due to the complexity of this technique it is necessary to verify the dose distribution in the treatment volume. Thus, in this study the three-dimensional (3D) dose distributions of selected clinical cases of cranial tumors were obtained using a head phantom. The the dose distributions of target volumes and adjacent regions were evaluated with PENELOPE Monte Carlo simulation code, MAGIC-*f* dosimeter and iPlan® treatment planning system. Radiochromic films were also used to determine the dose distribution on selected plans of the treatment. The obtained results for the proposed dosimetric tools were analyzed by the gamma index distributions, comparing the maps of the central dose distributions obtained with the four dosimetric tools. Using the dose criteria of 3% in 3 mm, the gamma index test showed equivalence in the region of dose prescription (95% isodose) and a different result was observed for lower isodoses, with maximum accordance of 76.5%. The volumetric dose distributions obtained with PENELOPE, MAGIC-*f* and iPlan® were also compared using the dose-volume histograms for each studied case, showing that 95% of the absorbed dose yield within the target volume. The tumor control probability, TCP, was evaluated for the studied radiosurgery cases, from the dose distributions-volumetric, resulting in a maximum probability of tumor control of 72% for all cases, for the used mathematical model of TCP. From the results it can be inferred that the MAGIC-*f* gel dosimeter and the PENELOPE Monte Carlo simulation code can be used to determine 3D dose distributions for stereotactic radiosurgery. These dosimetric tools can assist the commissioning of treatment units and 3D dose verifications of patient's treatments, allowing assessments in and around the target volume and may become routine in radiotherapy services.

Keywords: Stereotactic Radiosurgery. 3D dose distribution. MAGIC-*f* gel. PENELOPE-Monte Carlo. EBT2 radiochromic film.

Índice de figuras

Figura 1: Lars Leksell e Borje Larsson preparando ao paciente para o tratamento com radiocirurgia em 1958. (Chin et al, 2008).	4
Figura 2: Acessório estereotáxico, utilizado na técnica de radiocirurgia ou radioterapia estereotáxia para tratamentos de tumores intracranianos (http://www.brainlab.com).....	5
Figura 3: Dosímetro polimérico MAGIC-f gel: (a) amostra não irradiada e (b) amostra irradiada com feixe de fótons de 6 MV.	11
Figura 4: Decaimento do sinal de ressonância magnética nuclear, sendo a amplitude máxima quando todos os spins estão em fase e diminuindo conforme os spins encontram-se defasados (Baert et al, 2007)	14
Figura 5: Sequencia de pulso de 90° e 180° são aplicados ao vetor de magnetização, produzindo um grande sinal, o "spin echo" (Baert et al, 2007).14	
Figura 6: Esquema da trajetória de uma partícula sendo transportada em diferentes meios. (Salvat et al, 2009).	16
Figura 7: Esquema de várias colisões fracas entre duas colisões fortes, simulando eventos artificiais no PENELOPE (Salvat et al, 2009).	19
Figura 8: Visualização com o GeoView de uma geometria cilíndrica com dois corpos, de diferentes materiais, que são representados pelas diferentes cores.	20
Figura 9: Filme radiocrômico EBT2: (a) sem irradiar e (b) após de ser irradiado.	21
Figura 10: Esquema da orientação da posição do filme radiocrômico EBT2 para realizar o seu escaneamento.	22
Figura 11: Planejamento de um caso de radiocirurgia com o sistema de planejamento iPlan®, com três arcos dinâmicos.....	25
Figura 12: Curvas esquemática de um histograma dose-volume: (a) diferencial, e (b) acumulativo, mostrando um caso ideal (linha vermelha) e um caso real (linha preta).	29
Figura 13: Curva esquemática da probabilidade de controle tumoral.	29
Figura 14: Objetos simuladores utilizados nesse trabalho. (a) tubos de vidro de 5 ml; (b) tubos de vidro de 50 ml; (c) paralelepípedo de PPMA; (d) cilindro de PMMA; (e) objeto simulador de cabeça (f). cilíndrico de placas de PPMA.....	35
Figura 15 Aceleradores lineares Varian do HCB - Barretos: (a) 2100c e (b) Varian Generic com acoplamento de colimador multi-folhas. Aparelhos Siemens do HC-Ribeirão Preto: (c) Unidade de Cobalto 60 e (d) acelerador linear ONCOR®	37

Figura 16: Dosímetro MAGIC-f gel: (a) início da preparação, (b) final da preparação, com adição do último elemento.....	38
Figura 17: Tomógrafo NMR Philips, 3,0 Teslas, do HC – Ribeirão Preto, com uma bobina de cabeça.	39
Figura 18: Cilindro de PMMA usado para o estudo da homogeneidade de campo da bobina de cabeça do aparelho MRI.	40
Figura 19: Geometria de irradiação para determinar a dependência do MAGIC-f com a dose em um intervalo de 0,5 até 10Gy. (a) arranjo de irradiação (b) tubos de vidro com gel posicionados em suporte de PMMA dentro do OS de água.	43
Figura 20: Objetos simuladores para o estudo da dependência da resposta em função do tempo de espera para leitura após a irradiação. Tubos irradiados com doses de 5 Gy (os três primeiros tubos a partir da esquerda), 10 Gy e 15Gy, respectivamente.	44
Figura 21: Geometria para determinação da PDP (a) Geometria completa; (b) Detalhe do tanque de PMMA contendo o tubo de vidro, que está centralizado com o campo de irradiação.	45
Figura 22: Irradiação dos filmes EBT2: (a) filmes e OS, (b) geometria de irradiação.....	46
Figura 23: Posicionamento do aparelho estereotáxico no objeto simulador de cabeça (a) e posicionamento do objeto simulador para realização de CT de simulação (b).....	51
Figura 24: Planejamento de um caso de meningioma com o sistema de planejamento iPlan®, com três arcos dinâmicos.....	52
Figura 25: OS de cabeça: (a) preenchido com MAGIC-f; (b) posicionado para irradiação.....	53
Figura 26: Posicionamento do filme EBT2 dentro OS de cabeça com dois suportes circulares de acrílico.	54
Figura 27: Planejamento do OS de cabeça com 9 campos não coplanares, para a simulação de um tratamento de melanoma.....	55
Figura 28: Planejamento do OS de cabeça com 11 campos não coplanares, para a simulação de um tratamento de neurinoma do acústico.	56
Figura 29: Esquema do posicionamento do objeto simulador cilíndrico de PMMA utilizado no estudo da homogeneidade de campo da bobina de cabeça	59
Figura 30: MRI dos cortes axiais das regiões do cilindro de PMMA: (a1) cabeça, (b1) centro, (c1) pés e mapas dos ângulos de fleep para cada região: (a2) cabeça, (b2) centro, (c2).	60

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

