

Um aperfeiçoamento na análise térmica de tumores durante procedimentos hipertérmicos via: análise de sensibilidade, método semiautomático de aquisição do domínio, técnicas Monte Carlo e técnicas numéricas de propagação de frente de destruição

Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos, Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC), UFPE, e-mail: sylkarla@gmail.com

Giselle Holanda Canuto, DEMEC – UFPE, e-mail: giholanda@yahoo.com.br

Giselle Maria Lopes Leite da Silva, Departamento de Energia Nuclear – UFPE, e-mail: gisellemls@terra.com.br

Ana L. B. Candeias, Departamento de Engenharia Cartográfica - UFPE, e-mail: analucia@ufpe.br

Fernando R. de A. Lima, Comissão Nacional de Energia Nuclear, e-mail: falima@cnen.gov.br

Paulo Roberto Maciel Lyra, DEMEC – UFPE, e-mail: prmlyra@ufpe.br

Rita de Cássia Fernandes de Lima, DEMEC - UFPE, e-mail: ritalima@ufpe.br

Introdução e Motivação

Tumores não-operáveis podem ser tratados por hipertermia. Tal procedimento pode elevar a temperatura em tecidos sadios vizinhos ao tumor, causando dano térmico aos mesmos. Tumores da próstata, de duodeno e melanomas de coróide encontram-se nessa categoria, podendo ser submetidos à radiofrequência, laser ou outras fontes de aquecimento. A dificuldade na medição das temperaturas *in vivo* motivou o desenvolvimento de um modelo numérico para cálculo das temperaturas na região de interesse, usando o Método dos Volumes Finitos (MVF), aplicados a malhas não-estruturadas. Para tal foi usada a Equação da Biotransferência de Calor (“Bioheat Transfer Equation” – BHTE). As equações aproximadas foram obtidas, inicialmente, na forma bidimensional e em regime transitório [1]. Algumas melhorias e/ou validações porém se fazem necessárias na continuidade do estudo. Entre elas, a aquisição a mais automatizada possível dos pontos do domínio computacional, a modelagem da frente de destruição do tumor, análises de sensibilidade, e comparação com outros métodos, sejam numéricos ou estatísticos. Essas investigações estão comentadas a seguir.

Metodologia de análise de sensibilidade

Nem sempre se encontram disponíveis na literatura, dados precisos para os diversos parâmetros envolvidos na simulação numérica. Análises de sensibilidade podem ser usadas a fim de se otimizar e agilizar a obtenção de resultados confiáveis. As incertezas nos dados podem ser tanto em seus valores quanto na forma de medição. As medidas podem apresentar grandes diferenças quando efetuada em testes *in vivo* e *in vitro*. Os custos de tais análises, para esta diversidade de parâmetros, justificam o uso de métodos perturbativos. Os mesmos são utilizados principalmente quando não há solução analítica para o problema ou quando a solução numérica é muito onerosa, permitindo uma sensível redução de custos computacionais inerentes a estes cálculos e aumentando a eficiência da análise. Também apresentam a vantagem de calcularem a sensibilidade de uma resposta em relação aos parâmetros do sistema, independente da escolha prévia de um deles. Além disto, são rápidos e eficientes devido à maior facilidade com que se apresenta o sistema de equações a ser resolvido para cada resposta analisada. Foram deduzidas as equações da teoria da perturbação para a BHTE [3]. A metodologia foi descrita utilizando um formalismo diferencial de 2ª ordem, e a expressões dos coeficientes

de sensibilidade estão sendo calculados e implementados para diversos parâmetros de interesse.

Metodologia de Aquisição da Imagem

Inicialmente, a imagem utilizada nas simulações era digitalizada de um atlas médico, onde se fazia a suposição de um tumor em uma região predeterminada e se utilizava um programa de CAD para delimitar e modelar geometricamente a região. Este procedimento foi melhorado ao se tomar uma imagem real de ressonância magnética de um paciente portador de um tumor maligno de próstata (Fig.1), inicialmente em formato DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). A seguir foi transformada no formato TIFF (*Tagged Image File Format*) pelo programa OSIRIS, para ser posteriormente processada pelo Matlab (www.mathworks.com). Nesta plataforma, foi desenvolvido o programa API (Aquisição de Pontos em Imagens), com sistema de janelas para que os pontos do contorno do domínio a ser analisado sejam adquiridos da forma mais automatizada possível. O arquivo de dados de saída, contendo os referidos pontos, é colocado em formato adequado para ser utilizado pelo gerador de malha. Após a segmentação, sinalizando a próstata e o tumor (Fig 1), é gerada a malha sobre o domínio computacional.

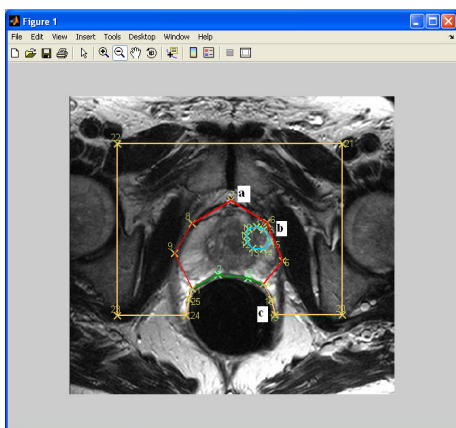


Figura 1 Imagem de ressonância magnética visualizada através do MATLAB destacando (a) próstata, (b) tumor e (c) reto.

Metodologia de tratamento da destruição do tumor

No tratamento de melanomas de coróide, queimas térmicas podem acontecer devido à mudança na temperatura de tecidos biológicos, associada com a absorção de alta intensidade de irradiação [2]. Características es-

pecíficas do tecido biológico, assim como parâmetros do laser, contribuem para os mecanismos de interação que podem ocorrer quando se aplica um laser no tecido. Diferentes efeitos térmicos podem ser distinguidos, dependendo da duração da aplicação do laser e do valor máximo da temperatura alcançada. A mudança na forma geométrica do tumor necessita, portanto, ser considerada. Um modelo numérico, capaz de descrever a destruição do tumor com a conseqüente mudança em sua forma, está sendo testado. A estratégia adotada será o "remeshing" global, onde a malha discreta é reconstruída ao longo de todo o domínio, para acompanhar a mudança na geometria do problema, com o objetivo de não se aumentar desnecessariamente o número de nós da malha.

Metodologia das técnicas Monte Carlo

Propõe-se uma possível validação do método numérico, usado para cálculo das temperaturas, via técnicas tipo Monte Carlo (MC), que são métodos estatísticos usados para simular processos de natureza aleatória, desde que estes possam ser descritos por funções densidade de probabilidade (fdp) ou determinística. Para tanto, está sendo construído um processador para o cálculo de temperaturas utilizando estas técnicas. A técnica MC é bem consolidada sendo bastante utilizada no cálculo de doses de radiação a serem ministradas a pacientes em tratamentos radioterápicos.

Resultados esperados

Com os trabalhos em desenvolvimento, além de se efetuar análises de sensibilidade, espera-se otimizar a técnica de aquisição da imagem, até então utilizada em projetos anteriores, e comparar numericamente os valores de temperatura calculados através da BHTE, em processos de hipertermia, via MVF, com os valores obtidos através de técnicas MC.

Referências bibliográficas

- [1] Lyra, PRM, Lima, RCF, Guimarães, CSC, Carvalho, DKE, "An edge-based unstructured finite volume procedure for the numerical analysis of heat conduction applications", J. Braz. Soc. of Mech. Sci. and Eng., v..26, pp. 160-169, 2004.
- [2] Chua K. J., Ho J. C., Chou S. K., Islam M.R., "On the study of the temperature distribution within a human eye subjected to a laser source", Int. Communications in Heat and Mass Transfer, v. 32, pp. 1057-1065, 2005.
- [3] Silva, GMLL, da, Lima, FR de A., Lima, R de CF de, "Estudo de sensibilidade em tratamentos hipertérmicos governados pela equação da biotransferência de calor, via métodos perturbativos", Anais do Congresso Nacional de Eng. Mecânica, CONEM2006, 11pp., (CDROM).