

GRADIENTES DE TENSÃO E DESLOCAMENTO NA MODELAGEM DA CRANIOTOMIA DESCOMPRESSIVA E DA CRANIOTOMIA VÉRTEX-BASAL COM FENESTRAÇÕES DURAIS

Faria, A. R, Laboratório de Projetos Mecânicos da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, alessandrorfaria@ibest.com.br, <http://www.lpm.mecanica.ufu.br/>

Roquette, A. G. D, Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, <http://www.famed.ufu.br/>

Araújo, C. A, Laboratório de Projetos Mecânicos da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, <http://www.lpm.mecanica.ufu.br/>

Miranda, R. F, Laboratório de Projetos Mecânicos da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, <http://www.lpm.mecanica.ufu.br/>

Resumo. Traumatismos cranianos relacionados a rápidas desacelerações podem ocasionar um hematoma cerebral com sangramento no espaço subdural, denominado Hematoma Subdural Agudo (HSDA), cujo tratamento é feito através da técnica cirúrgica de Craniotomia Descompressiva (CD) com uma ampla abertura da dura-máter e rápida descompressão intradural. O objetivo deste trabalho é avaliar o deslocamento total e a tensão principal máxima na dura-máter e no hematoma, através da modelagem da CD e da Craniotomia Vértex-Basal com Fenestrações Duraís (CVBFD), utilizando modelos matemáticos em tecidos vivos integrados a modelos numéricos de elementos finitos. O estudo mostrou que a técnica da CVBFD apresentou não só um Deslocamento Total (DT) inferior ao da CD, mas também a Tensão Principal Máxima foi aliviada.

Palavras chave: Hematoma Subdural Agudo, Modelagem de Tecidos Macios, Neurocirurgia, Deslocamento Total, Tensão Principal Máxima

1. INTRODUÇÃO

Traumatismos cranianos relacionados a impactos ou rápidas desacelerações podem ocasionar um hematoma cerebral com sangramento no espaço subdural, geralmente com a ruptura de uma veia superficial cortical no seio sagital. Este dano cerebral é denominado Hematoma Subdural Agudo (HSDA), e a sequência para sua formação é demonstrada na Fig. (1). O tratamento é feito através de uma técnica cirúrgica denominada Craniotomia Descompressiva (CD) com uma ampla abertura da dura-máter e rápida descompressão intradural. Os prognósticos são desanimadores devido a altas taxas de morbi/mortalidade.

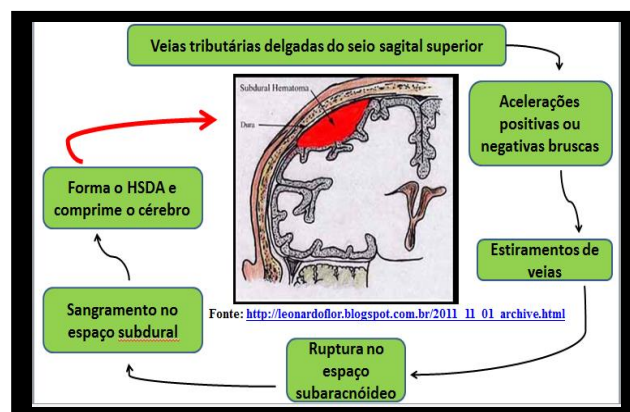


Figura 1. Processo de formação do HSDA

Na prática, a realização de análises de técnicas para o tratamento do HSDA é dificultada por uma série de fatores, pois o tecido biológico sofre grandes deformações, é anisotrópico, não homogêneo, sofre relaxação, fluência, histerese, é viscoelástico, incompressível, e possui uma relação não linear entre o campo de tensão e o campo de deformação.

Para contornar este problema um grupo de neurocirurgiões associados com engenheiros mecânicos, ambos da Universidade Federal de Uberlândia propuseram um método para tratamento do HSDA denominado de Craniotomia Vértex-Basal com Fenestrações Duraís (CVBFD), no qual, entre outras ações, são feitas múltiplas e pequenas incisões na dura-máter, denominadas Fenestrações Duraís, conseguindo-se assim, diminuir de forma gradual a pressão intracraniana e, evitar a rápida descompressão intradural. A Fig. (2) mostra as Fenestrações Duraís.

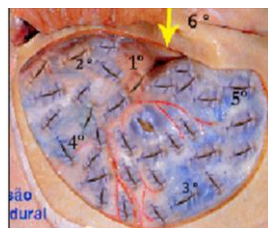


Figura 2. Fenestrações Duraís para a Descompressão Gradual Intradural

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o deslocamento total e a tensão principal máxima na dura-máter e no hematoma, através da modelagem da CD e da CVBFD, utilizando modelos matemáticos em tecidos vivos integrados a modelos numéricos de elementos finitos.

3. METODOLOGIA

O modelo completo pode ser visto nas Fig. (3), apresentando o corte da cirurgia. Como o modelo não possui o crânio, a PIC foi aplicada em toda a dura-máter.

Trabalhou-se com o hematoma “colado” ao cérebro, e também com atrito entre ambos, mas o coeficiente de atrito utilizado foi baixo, com valores próximos a 0,19. Isto, para não causar muita influência no custo computacional do programa. A Fig. (4) mostra a malha utilizada, após o teste de malha, cujo comprimento da aresta do elemento é de 10mm, variando na região de contato, com 1mm para o elemento da dura-máter e 1,8mm para o elemento do hematoma na região de contato.

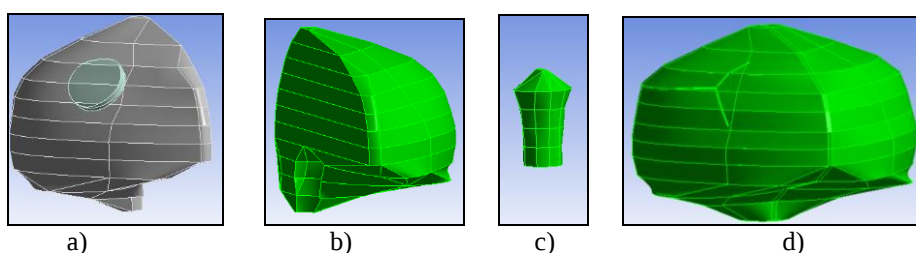


Figura 3 – Modelo usado para simular o corte da cirurgia. a) Lado direito do cérebro com o hematoma. b) Lado esquerdo do cérebro. c) Medula Cervical. d) Dura-Máter.

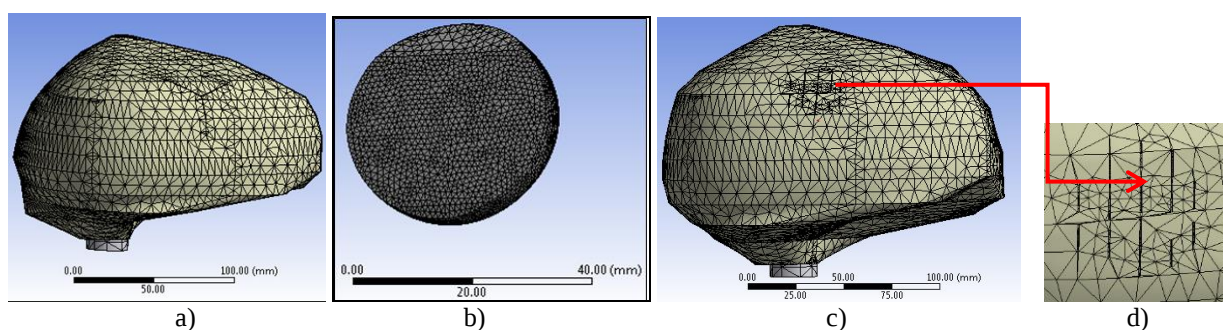


Figura 4. a) Malha utilizada no modelo de EF para CD: 79222 nós e 41192 elementos. b) Malha mais refinada no hematoma. c) Malha utilizada no modelo de EF para CVBFD, com quatorze fenestrações: 66918 nós e 34080 elementos. d) Malha mais refinada na região das fenestrações

A relação, entre a tensão e o tempo de aplicação de carga encontrada, ficou limitada matematicamente para uma forma polinomial como aquela utilizada no caso da compressão. Foi aplicado então, o modelo desenvolvido por Ogden em 1972 para materiais hiperelásticos.

A Fig. (5) mostra as curvas apresentadas por Miller, da relação Tensão de Lagrange x Taxa de Alongamento, experimental e teórica, para uma velocidade de carregamento de 5mm/min.

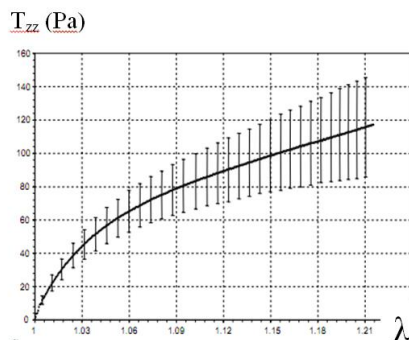


Figura 5 – Curvas de Miller, da relação Tensão de Lagrange (Pa) x Deformação. V de carregamento = 5mm/min.

Fonte: Miller, K., Chinzei, K., Mechanical properties of brain tissue in tension, Journal of Biomechanics 35 (2002), 483-490.

O software Ansys tem uma série de modelos hiperelásticos. O usuário entra apenas com pontos obtidos em um teste e escolhe o modelo de material a ser aplicado, que expressam uma função de energia de deformação, porque o próprio software calcula os parâmetros da função. Para o cálculo das constantes hiperelásticas, foi utilizado o modelo de Ogden, porque a literatura mostra que é o modelo que se ajusta mais facilmente a dados experimentais, uma vez que é baseado nos alongamentos e não nos invariantes de deformação, e muitas vezes, o que se tem experimentalmente, são pontos de uma curva tensão x alongamento. Na Fig. (6) é mostrada a curva Tensão/Deformação obtida no Ansys a partir de pontos dos ensaios do trabalho de Miller.

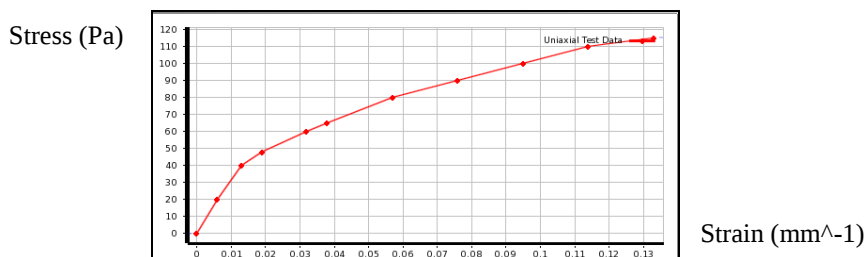


Figura 6 – Curva Tensão/Deformação obtida no Ansys a partir de pontos dos ensaios do trabalho de Miller.

Foram aplicados três passos de carga:

- Pic na Dura-máter:

- Passo 1 – Sobe de zero a 600Pa
- Passo 2 – Constante em 600Pa
- Passo 3 – Constante em 600Pa

- Pic na Dura-máter, na região de corte cirúrgico da CD:

- Passo 1 - Sobe de 0 a 600Pa
- Passo 2 - Constante em 600Pa
- Passo 3 – Desce de 600Pa a zero

- Pressão do hematoma na dura-máter:

- Passo 1 - Constante em zero
- Passo 2 - Sobe de zero a 10000Pa
- Passo 3 - Desce de 10000Pa a 5000Pa

- Pressão do hematoma no cérebro:

- Passo 1 - Constante em zero
- Passo 2 - Sobe de zero a 10000Pa
- Passo 3 - Desce de 10000Pa a zero

A Fig. (7) mostra a carga aplicada ao modelo, e a Fig. (8) apresenta as linhas de medida de deslocamento total e tensão principal máxima ao longo dos três passos de carga, ou seja, ao longo do tempo.

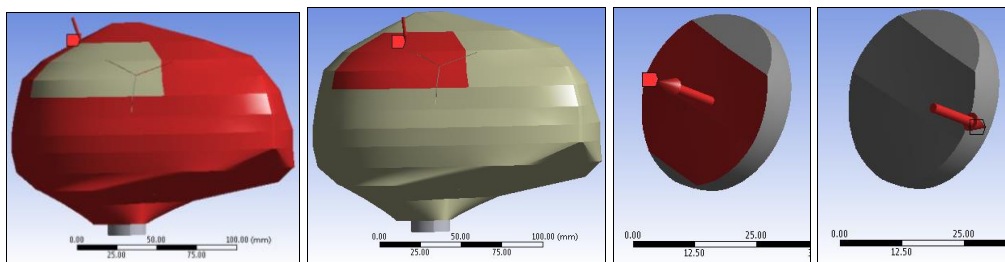


Figura 7. Carga aplicada no modelo.

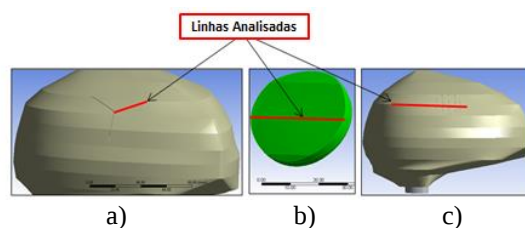


Figura 8. Linhas de medida de deslocamento total e tensão principal máxima ao longo dos três passos de carga (ao longo do tempo). a) Linha de corte na CD. b) Linha no hematoma. c) CVBFD passando pela linha de corte na dura-máter.

4. RESULTADOS

A Fig. (9) mostra o DT(mm) no final do terceiro passo de carga, e a extrusão do hematoma na CD. A Fig. (10) mostra imagem do DT, na dura-máter, no final do terceiro passo de carga (ampliado 5 vezes). A Fig. (11) mostra a variação de Deslocamento Total e de Tensão em várias situações.

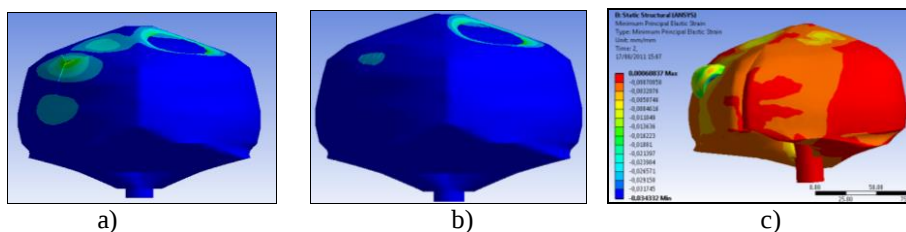


Figura 9. a) DT(mm) na CD (Passo 3). b) DT(mm) na CVBFD (Passo 3).
c) Extrusão do hematoma devido a retirada da PIC

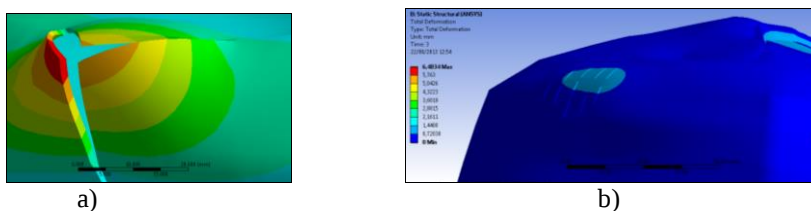


Figura 10. Imagem do DT, na dura-máter, no instante da Extrusão Cerebral da CD (ampliado 5 vezes).
a) CD. b) CVBFD

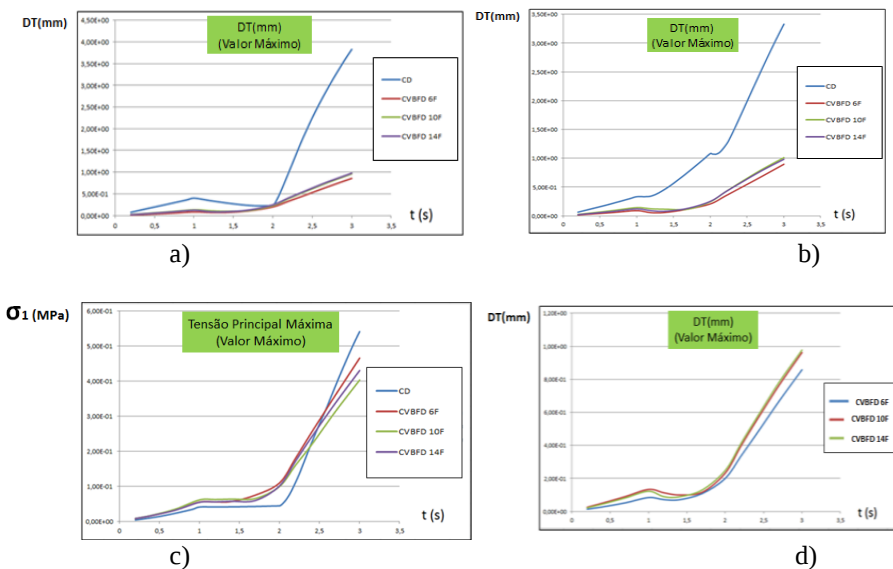


Figura 11. a) Deslocamento Total na dura-máter. b) Deslocamento Total no hematoma. c) Tensão principal máxima. d) Deslocamento Total na dura-máter variando com o número de Fenestrações.

5. CONCLUSÃO

Os resultados de simulação do processo de CD mostraram que uma rápida variação nos níveis de deslocamento na região do corte cirúrgico pode provocar uma extrusão cerebral, além de um aumento nos níveis de tensão.

Nas simulações da CVBFD observou-se que os níveis de deslocamento na região da cirurgia (Fenestrações) foram significativamente diferentes do processo de CD não indicando uma possível extrusão cerebral. Paralelamente, as tensões variaram de forma gradual com valores inferiores aos encontrados na técnica CD. Como esperado, utilizando um número maior de Fenestrações aumenta-se a flexibilidade da dura-máter.

6. REFERÊNCIAS

- Araújo, C. A., Miranda, R. F., Roquette, A. G. D., Lessa, S. S., Melo, L. P., Análise qualitativa das craniotomias descompressiva (cd) e vértex-basal com fenestrações durais(cvbfd) em casos de hematoma subdural agudo, IX Encontro Interno e XIII Seminário de Iniciação Científica, Universidade Federal de Uberlândia. (2009).
- Miller, K., Constitutive model of brain suitable for finite element analysis of surgical procedures, Journal of Biomechanics 32 (1999), 531–537.
- Miller, K., Chinzei, K., Orssengo, G., Bednarz, P., Mechanical properties of brain tissue in-vivo: experiment and computer simulation, Journal of Biomechanics 33 (2000), 1369-1376.
- Miller, K., Chinzei, K., Mechanical properties of brain tissue in tension, Journal of Biomechanics 35 (2002), 483-490.
- Miller, K., Wittek, A., Joldes, G., Biomechanics of the brain for computer-integrated surgery, Acata of Bioengineering and Biomechanics, Vol. 12, Number 2, (2010).
- Miranda, R. F., Estudo sobre Compressão e Descompressão Rápida e Gradual, e suas consequências, FEMEC – UFU, Uberlândia (2009).

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores é são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.