

ESTUDO BIOMECÂNICO DA DURA-MÁTER

Bruno Vidal Guimarães, INBIO – Ciências Biológicas/UFU, bruninsmk@gmail.com

Gabriela Lima Menegaz, LPM - Faculdade de Engenharia Mecânica/UFU, gabriela.menegaz@gmail.com

Cleudmar Amaral Araujo, LPM – Faculdade de Engenharia Mecânica/UFU, cleudmar@mecanica.ufu.br

Resumo. O sistema nervoso central é envolvido por membranas conjuntivas denominadas meninges e que são classificadas em três: dura-máter, aracnoide e pia-máter. Desta forma este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento biomecânico da dura-máter submetido a carregamentos de tração e relacionar a importância da dura-máter no comportamento mecânico quando aplicados as técnicas de craniotomia descompressiva (CD), e o novo método proposto, craniotomia vértex-basal com fenestrações durais (CVBFD). Para avaliar a resistência da dura-máter cerebral foram utilizadas amostras desse tecido retiradas de suínos. As amostras foram testadas para duas direções distintas das fibras do tecido, sendo elas na direção paralela a aplicação da carga perpendicular. No estudo realizado observou-se que a dura-máter de suínos apresentou um comportamento não linear entre os valores de tensão e deformação. Os ensaios mostraram que ao submeter a dura-máter a carregamentos de tração, as amostras com as fibras na direção perpendicular apresentaram uma maior resistência quando comparados aos corpos de prova na direção paralela. Os efeitos da variação das propriedades mecânicas observados nos testes realizados podem influenciar diretamente novos processos cirúrgicos como a CVBFD, uma vez que, a direção e quantidade de cortes efetuados na dura-máter podem modificar o comportamento biomecânico das estruturas cerebrais.

Palavras chave: Dura-máter, Comportamento biomecânico, Ensaios de tração.

1. INTRODUÇÃO

Uma das complicações mais frequentes dos traumatismos cranianos é a ocorrência de rupturas de vasos que resultam em acúmulo de sangue nas meninges sob a forma de hematomas. Assim, as lesões das artérias meníngeas, principalmente da artéria meníngea média, resultam no acúmulo de sangue entre a dura-máter e os ossos do crânio, formando-se um hematoma extradural. O hematoma cresce, separando a dura-máter do osso, e empurra o tecido nervoso para o lado oposto, levando a morte em poucas horas, caso o sangue em seu interior não seja drenando (Machado, 2004).

Nos hematomas subdurais, o sangramento se dá no espaço subdural, geralmente em consequência da ruptura de uma veia cerebral no ponto em que ela entra no seio sagital superior. São mais frequentes os casos em que o crescimento do hematoma é lento e a sintomatologia aparece tardiamente (Machado, 2004). Existem dois métodos cirúrgicos para casos de traumatismo craniano, a craniotomia descompressiva (CD) e a craniotomia vértex basal com fenestrações durais (CVBFD).

Atualmente, a conduta cirúrgica estabelecida e convencional é a craniotomia descompressiva que é a remoção de uma grande área da calota craniana para redução imediata da pressão intracraniana (PIC). Em seguida, abre-se amplamente a dura-máter visando retirar hematomas subdurais agudos (Faria, 2001). Como comentado, a craniotomia descompressiva apresenta contudo, resultados desanimadores. Através da CD, pode-se reduzir a mortalidade, mas seguramente aumenta-se a morbidade. Isso ocorre porque, para conter um hematoma subdural agudo, a dura-máter deveria se expandir, no entanto, por ser rígida a pressão intracraniana aumenta. Sabe-se que, quanto maior a área de contato para uma mesma pressão, maior será a força exercida nessa superfície. Sendo assim, fazendo uma incisão ampla na dura-máter, a tendência é que o conteúdo intradural saia subitamente, ou seja, de que ocorra uma extrusão da massa encefálica e do hematoma, podendo-se associar com herniações, lacerações parenquimatosas ou rupturas vasculares, já que a força contida é muito grande (Andrade et al, 1999; Britt et al, 1978; Connolly et al, 2001; Genneralli et al, 1982). Se for feita uma descompressão gradual, isto é, diminuir a pressão intracraniana gradualmente através de várias e pequenas incisões na dura-máter e progressivamente drenar o hematoma intradural, a saída rápida mesmo será evitada.

A dura-máter é uma das membranas biológicas de acomodação de várias estruturas cerebrais, sendo importante para o entendimento e otimização da craniotomia vértex basal com fenestrações durais empregada no tratamento de traumatismo craniano. Desta forma, o comportamento biomecânico desse tecido foi avaliado através de ensaios mecânicos em corpos de prova extraídos de suínos. A força até a falha do tecido e o seu alongamento máximo foram estimados por meio de um ensaio de tração. Em trabalhos futuros, pretende-se relacionar o comportamento mecânico deste tecido nas técnicas de craniotomia descompressiva e craniotomia vértex-basal com fenestrações durais.

2. MATERIAIS E METÓDOS

A principal finalidade da modelagem experimental foi estimar a resistência máxima a da dura-máter quando submetida a um carregamento de tração. Os ensaios mecânicos do tecido foram realizados com amostras retiradas do crânio de suínos.

2.1 Procedimento de obtenção das amostras

As cabeças dos suínos foram fornecidas pela empresa Frigorífero Real localizada no município de Uberlândia-MG, com apoio de José Nely. Foram utilizadas quatorze peças para a realização dos experimentos. As peças anatômicas foram adquiridas logo após o abate dos animais e em seguida congeladas até o momento de realização dos ensaios. A Figura 1 mostra algumas das peças fornecidas pelo frigorífico. Por se tratar de um ensaio com carcaças de animais, não houve necessidade, neste momento, de elaborar um projeto específico para o Comitê de Ética de Animais (CEUA) Para a realização dos ensaios o conjunto anatômico foi descongelado por 2 horas antes da realização dos ensaios. Com o auxílio de uma pinça e um bisturi a dura-máter foi separada dos forames do crânio suíno. As partes restantes do cérebro foram retiradas da peça, como pode ser visto na Fig 1.



Figura 1. Amostra da dura-máter de suínos.

Após a retirada da dura-máter foram feitos corpos de prova a partir de moldes pré-determinados. As amostras foram testadas para duas direções distintas das fibras do tecido, sendo elas na direção paralela a aplicação da carga e perpendicular. Em seguida, as medidas aproximadas da largura, espessura e comprimento destas amostras foram determinadas. As dimensões estão dadas na Tab. 1. Os tecidos cerebrais são muito macios e aderem com facilidade no contato da maioria dos materiais, consequentemente, a obtenção de uma geometria exata é de extrema dificuldade, o que justifica as diferenças obtidas nas medidas de cada amostras. Portanto não é possível considerar que a área da seção transversal de todos os corpos de prova é constante (Miller e Chinzei, 2001). Devido a dificuldade da caracterização biológica da dura-máter quanto a sua disposição das fibras, os testes foram feitos em duas direções, de forma paralela e perpendicular.

Tabela 1. Dimensões das amostras da dura-máter obtidas nas duas direções.

	Direção paralela (valor médio)	Direção perpendicular (valor médio)
Comprimento	38mm	26,5mm
Largura	10mm	10mm
Espessura	0,8mm	0,8mm

2.2 Ensaios mecânicos

A obtenção das forças de resistência da dura-máter foi feita através de um ensaio de tração. Para isso, foi utilizada uma máquina de ensaio do fabricante Oswaldo Filizola modelo BME 10 kN. A capacidade da célula de carga empregada nos testes foi de 50 Kgf e uma garra de aperto manual através de parafusos foi acoplada a máquina, como pode ser visto na Fig 2.

Durante testes iniciais, verificou-se o escorregamento das amostras nas garras, o que, provavelmente, ocorreu devido a presença de gordura nas amostras da dura-máter, aliada a fixação manual das garras através de parafusos e a pequena espessura do tecido. A solução encontrada para sanar os problemas descritos foi fixar as extremidades dos corpos de prova utilizando lixas.

Após a fixação das amostras na máquina de ensaio foi possível a realização dos testes mecânicos de tração. Os corpos de prova foram ensaiados a uma velocidade de 5 mm/min. As curvas de força (N) versus deslocamento (mm) foram adquiridas e os dados levados em planilha Excel para serem tratados e analisados.

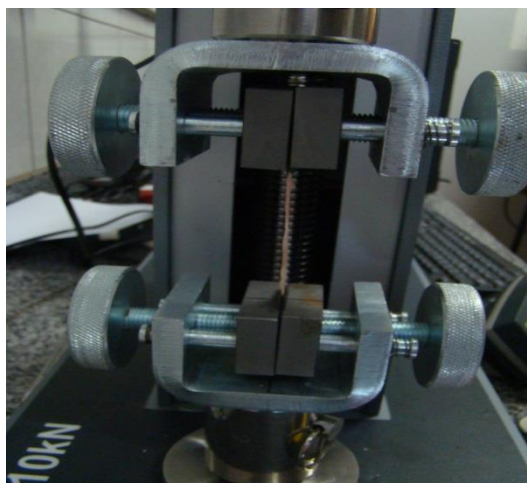


Figura 2. Fixação da amostra com a lixa, na máquina de Oswaldo Filizola BME 10kN

3. RESULTADO

O ensaio de tração foi feito com o objetivo de avaliar o comportamento mecânico *in vitro* de amostras da dura-máter de suínos. A resistência e o alongamento do tecido foram avaliados. Através dos ensaios de tração das amostras das diferentes direções foram obtidas curvas de tensão [MPa] x deformação, como mostrado nas Figs. 3 e 4.

Nos ensaios da dura-máter na direção paralela a falha do tecido ocorreu com uma força de ruptura média de 19,89 N e um deslocamento de aproximadamente 8,73 mm. A tensão média obtida para as amostras na direção paralela foi de 2,63 MPa e a deformação média de 0,22. Nos ensaios na direção perpendicular a falha da dura-máter foi observada com uma força de ruptura média de 24, 27 N e um deslocamento médio em torno de 6,14 mm. A tensão média para as amostras nessa direção foi de 3,74 MPa com uma deformação média de 0,20.

É possível observar através das Figs. 3 e 4 que o comportamento da dura-máter nos ensaios apresentaram curvas de tensão [MPa] x deformação semelhantes. As diferenças apresentadas entre as curvas dos ensaios, principalmente após a deformação de 0,05 pode ser explicadas pela não linearidade do fenômeno e possíveis erros de posicionamento da amostra da dura-máter na garra da máquina.

Percebe-se que as curvas possuem um comportamento não linear com variações dos níveis de tensão até o ponto de ruptura. Este efeito é gerado, principalmente, pela acomodação do tecido nas garras de fixação. Outra possível causa para as diferenças observadas entre as curvas são os desvios das dimensões das amostras. Em todos os ensaios realizados a falha da dura-máter foi observada ao longo do comprimento útil e não ocorreu nas proximidades da fixação, devido a redução da seção transversal na região central do comprimento das amostras. Este efeito também foi observado nas amostras ensaiadas no trabalho de Miller e Chinzei (2001). Quando a força foi aplicada na direção paralela observou-se uma deformação de 6,36% maior quando comparada à direção perpendicular. Quanto aos valores de tensão observou-se que a direção perpendicular é 29,69% mais resistente à tração do que a direção paralela.

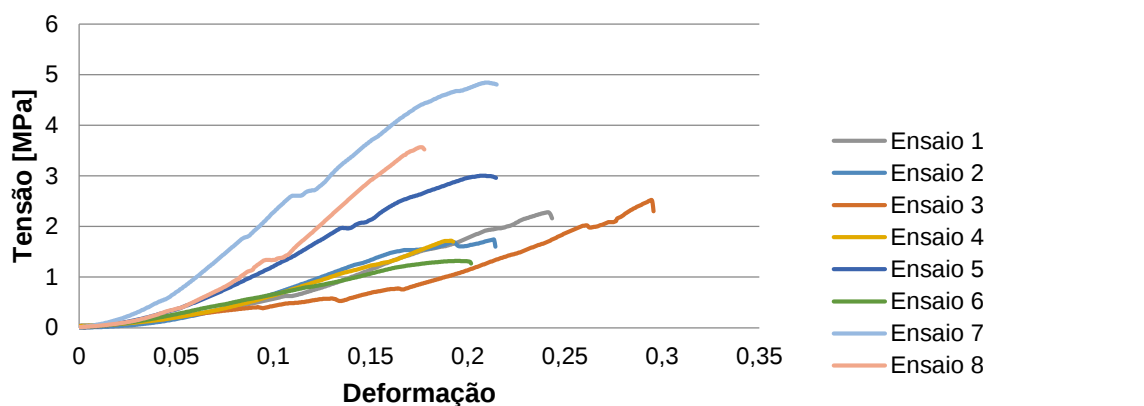


Figura 3. Curva de tensão x deformação para os ensaios na direção paralela da amostra de dura-máter.

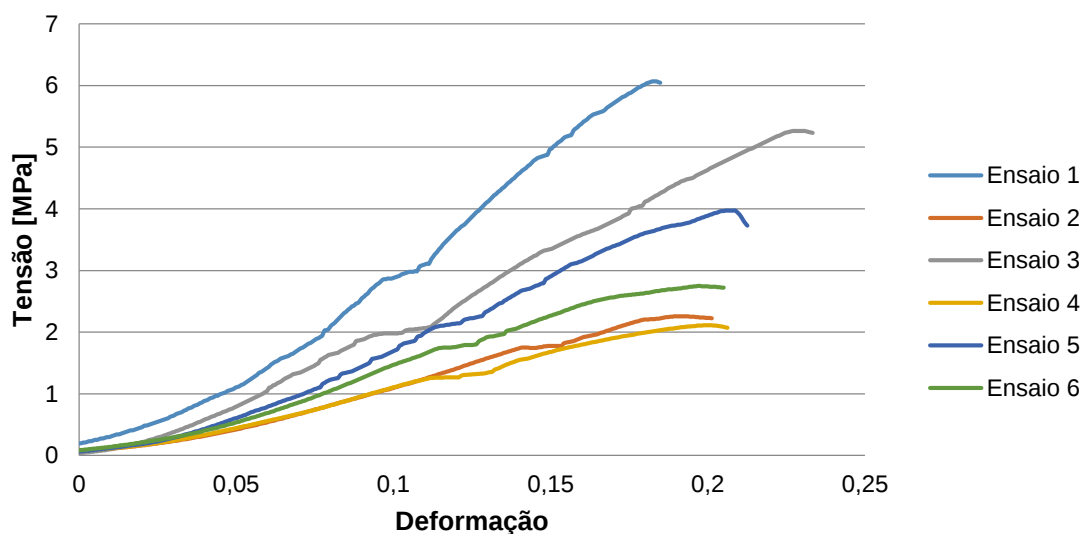


Figura 4. Curva de tensão x deformação para os ensaios na direção perpendicular da amostra de dura-máter.

4. CONCLUSÃO

Os ensaios mostraram que ao submeter a dura-máter à carregamentos de tração, as amostras com as fibras na direção perpendicular apresentaram uma maior resistência quando comparadas aos corpos de prova na direção paralela. Os efeitos da variação das propriedades mecânicas observados nos testes realizados podem influenciar diretamente novos processos cirúrgicos como a craniotomia vértex basal com fenestrações durais. uma vez que, a direção e quantidade de cortes efetuados na dura-máter podem modificar o comportamento biomecânico das estruturas cerebrais.

5. REFERÊNCIAS

- Andrade, A. F., Ciquini, O. Jr.; Figueiredo, E. G.; Breck, R. S.; Marino, R. Jr., 1999, “Diretrizes de atendimento ao paciente com traumatismo cranioencefálico”, Edição especial: Arquivos Brasileiro de Neurocirurgia, V. 18, nº 3.
- Bastos, P. G; Sun, X.;Waqner, D. P.; Knaus, W. A, 1993, “Glasgow Coma Scale score in the evaluation of outcome in the intensive care unit: findings from the Acute Physiology and Chronic Health Evaluation study”. Crit Care Med 21: 1459-1465.
- Bostrom, S.,Bobunski, L.,Sigmond, P.,Theodorson, A. , 2005, “ Improved brain protection at decompressive craniectomy a new method using Palacos R-40 (methymethacrylte)”. Acta Neurochir (wien) 147:27981.
- Buczko, W., ,2005, ”Cranial surgery among Medicare beneficiaries.” J Trauma 58: 40-46.
- Britt, R. H.,Hamilton, R. D., 1978 “Large descompressive craniotomy in treatment of acute subdural hematoma.” Neurosurgery, v. 2, p. 195-200.
- Bullock, R., Chesnut, R. M., Clifton, G., Ghajar, J., Marion, D. W., Naryan, R., 1996, “Guigelines for the management of severe head injury: Brain Trauma Foundation”. Eur J Emerg Med 3: 109- 127.

- Connolly S. E., Guy M. M., Judy H., Tanvir F. C., 2001 “Acute Subdural Hematoma in Fundamental of Operative Techniques in Neurosurgery”, Thieme Cap. 10, p. 568-574.
- Gennarelli T. A, Spielman G. M., Langfitt T. W., 1982 “Influence of the type of intracranial lesion on outcome from severe head injury. A multicenter study a new classification system”, J. Neurosurgery. V. 56, p. 26-32, 1982.
- Faria, J. W. V., 2001, “Perfil epidemiológico e características dos pacientes com traumatismo cranioencefálico grave na cidade de Uberlândia”, MG. Dissertação de Mestrado da Unidade Federal de Uberlândia.
- Miller, K.; Chinzei, K., 2001, “Mechanical properties of brain tissue in tension.” Journal of biomechanics 35, p. 483-490.
- Machado, A. “Neuroanatomia funcional”. 2ª ed. Atheneu Rio, p.380, 2004.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento (FAPEMIG, CNPq e CAPES) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica/UFU pelo apoio financeiro. Agradecem também à Sala FEMEC/CIMNE, ao Laboratório de Projetos Mecânicos (LPM) e ao Núcleo de Habilitação e Reabilitação em Esportes Paralímpicos (NH/RESP).

7. ABSTRACT

Connective membranes called meninges, which are classified into three, surround the central nervous system: dura-máter, arachnoid and pia mater. Thus, this work aims to evaluate the biomechanical behavior of the dura mater subjected to tensile loads and relate the importance of the dura-máter in the physical, biological and mechanical behavior when applied the techniques of decompressive craniectomy (DC), and the new method proposed, vertex-basal craniotomy with dural fenestration (CVBFD). To assess cerebral dura-máter resistance of samples were used taken from pig tissue. The samples were tested for two different directions of the fabric fibers, these being applied in the direction parallel to the perpendicular load. In the study, it was observed that the dura-máter pigs showed a non-linear relationship between voltage values and deformation. The tests showed that by submitting the dura-máter to tensile loading, the samples with the fibers in the direction perpendicular presented greater resistance when compared to the specimens in the parallel direction. The effects of changes in mechanical properties observed in tests may influence directly as new surgical procedures CVBFD, since the direction and quantity of cuts made in the dura-máter may alter the biomechanical behavior of the cerebral structures.