

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA DEFORMAÇÃO CRANIANA UTILIZANDO EXTENSOMETRIA

Larissa R. Pereira, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro de Inovação Tecnológica em esportes Paralímpicos (CINTESP), larissarop@gmail.com

Cleudmar A. Araújo, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro de Inovação Tecnológica em esportes Paralímpicos (CINTESP), cleudmar.araujo@ufu.br

Antônio G. D. Roquette, Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Medicina, roquette@centershop.com.br

João C. da Silva, Universidade Federal de Uberlândia, jciceros@mecanica.ufu.br

Jonas P. Borges, Universidade Federal de Uberlândia, jonasprofeta@ufu.br

Diego A. C. Alves, Universidade Federal de Uberlândia, diegoaugusto@ufu.br

Resumo. A Pressão Intracraniana (PIC) é uma variável complexa que envolve os elementos intracranianos como o parênquima cerebral, o líquido cefalorraquidiano (LCR) e o sangue circulante. O valor da PIC se mantém constante devido a mecanismos reguladores que promovem um deslocamento compensatório de sangue e LCR. Quando ocorre danos a esses mecanismos, o valor da PIC pode aumentar e consequentemente, gerar lesões graves. A medição das deformações causadas pelo aumento da PIC é o objetivo deste trabalho. O presente trabalho apresenta a medição da deformação craniana utilizando como base um valor médio da PIC através da análise experimental por extensometria. Para isso, foi fabricado um crânio utilizando manufatura aditiva. Os resultados obtidos serão utilizados para validação de um modelo de simulação numérica por elementos finitos.

Palavras chave: Pressão Intracraniana, deformação craniana, taxas de deformação, manufatura aditiva, neurocirurgia.

1. INTRODUÇÃO

Pressão Intracraniana, medida em mmHg, é descrita como a pressão que o crânio exerce sobre o tecido cerebral, líquido cefalorraquidiano e sobre o sangue circulante no cérebro (Carvalho et al., 2008). Esses três componentes preenchem a cavidade craniana. Em indivíduos saudáveis as quantidades dos componentes intracranianos (tecido cerebral, líquido cefalorraquidiano e volume sanguíneo cerebral) mantêm-se relativamente constantes, mantendo a PIC em valores normais. Esse equilíbrio do volume das estruturas intracranianas é conhecido como Doutrina de Monro-Kellie (Cangussu, 2006). Em qualquer situação que há um aumento de volume de algum componente intracraniano é necessário a diminuição de outro para manter a PIC constante. Essa compensação normalmente é feita através da diminuição do volume de sangue e de LCR (Giugno et al., 2003). Quando esses mecanismos de compensação são esgotados ocorre um aumento exponencial da PIC (Cangussu, 2006).

Os valores fisiológicos da Pressão Intracraniana em humanos estão compreendidos entre 3 e 15 mmHg, com a maioria dos indivíduos apresentando valores entre 5 e 10 mmHg (Marmarou; Beaumont, 2004) (Dantas Filho, 1999). Entre 20 e 30 mmHg a PIC é considerada grave e necessita de intervenção urgente, entre 30 e 40 mmHg normalmente levam o paciente ao estado comatoso, e valores acima de 40 mmHg indicam, na maioria das vezes, o óbito (Vilela, 2010).

Os valores da pressão intracraniana permitem saber se o cérebro e os outros órgãos do encéfalo estão recebendo a quantidade adequada de nutrientes e oxigênio e se as toxinas estão sendo eliminadas no ritmo que deveriam (Zorzetto, 2014), tornando essencial o seu monitoramento. Atualmente os métodos usados são invasivos, sendo o intraventricular, intraparenquimatoso e subaracnóideo os principais métodos utilizados de monitoramento da PIC. Todos incluem trepanação e inserção através do crânio de um cateter para realização da medida (Vilela, 2010). Apesar da monitoração invasiva da PIC fornecer informações importantes, estes procedimentos expõem o paciente a riscos de precipitação de hematomas provocados no ato da inserção do cateter, hemorragias intracerebrais, fístula liquórica, e a mais comum do método, a infecção intracraniana (Cangussu, 2006). Uma técnica confiável de medição não invasiva da PIC permitiria medir a PIC de forma fácil e repetidamente com o mínimo de risco, ampliando a aplicabilidade da monitoração da PIC para uma ampla gama de ambientes clínicos (Toshiaki et al., 2005).

Assim, o presente trabalho propõe uma análise das deformações cranianas oriundas da variação da pressão intracraniana, no qual a avaliação desses níveis de deformação é importante para a estimativa de métodos de análises não invasivos. Inicialmente foi feita uma análise experimental por extensometria, que será comparada posteriormente com resultados de uma modelagem por elementos finitos.

2. METODOLOGIA

Para a análise experimental foi impresso um crânio 3D em PLA, utilizando manufatura aditiva tipo FDM, Fig. (1). Para tal impressão foi utilizada a impressora 3D Cliever CL2 Pro nas seguintes configurações: preenchimento de 30%, altura da camada de 0,25 mm, 5 camadas de base e 5 de fechamento.

O modelo do crânio utilizado foi obtido em um site (<https://grabcad.com/library>), que disponibiliza modelos 3D.

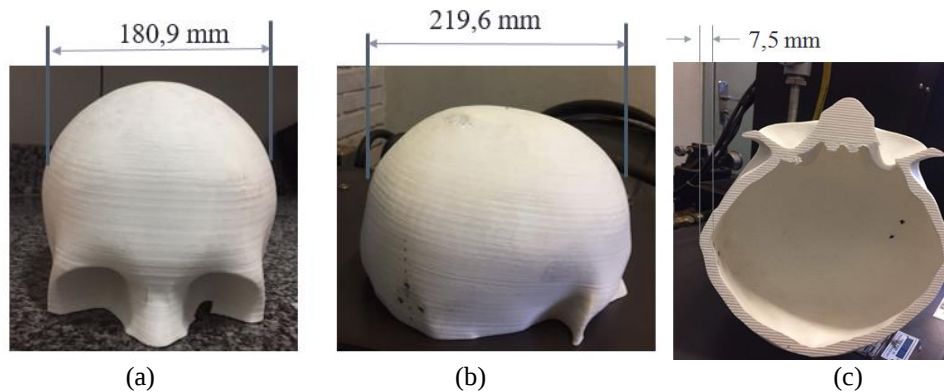


Figura 1. Crânio impresso em PLA, (a) diâmetro frontal, (b) diâmetro do perfil, (c) espessura da calota craniana

Na literatura são encontradas as dimensões e espessura do crânio humano, representados nas Tabs. (1) e (2), respectivamente.

Tabela 1. Dimensões médias de um crânio humano (em mm), Alves *et al.* (2011)

	Largura (diâmetro frontal)	Comprimento (diâmetro do perfil)
Masculino	156,5	197,5
Feminino	150,2	191,2
Geral	153,4	194,4

Tabela 2. Comparação dos valores da espessura da calota craniana entre os sexos (em mm), Bernardino Junior *et al.*, (2011)

	Masculino	Feminino
Maior valor	9,0	8,5
Menor valor	3,0	2,0
Diferença	6,0	6,5
Média	5,05	5,28

As dimensões do diâmetro frontal e do diâmetro do perfil são um pouco maiores do que a média apresentada na Tab. (1), porém a espessura da calota craniana utilizada se encontra dentro das medidas apresentadas na Tab. (2).

Na análise experimental, foi utilizada a calvária (calota craniana) para a aplicação de pressões pois será a região de medição da pressão intracraniana. Determinou-se na calota uma região (possível localização de hematomas) para a aplicação da pressão e análise das deformações, Fig. (2).

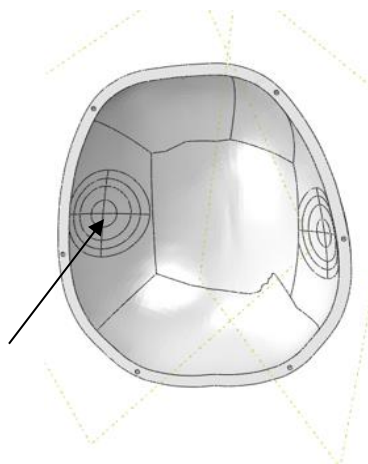


Figura 2. Região de aplicação da carga.

A região delimitada possui um raio total de 0,032m e, portanto, uma área de $A = 3,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Como primeira análise foi utilizado o valor médio da pressão como sendo 25 mmHg, o que já é um valor elevado para os parâmetros normais da PIC. Utilizando dessa pressão e da área delimitada foi encontrado o valor da força média correspondente a ser aplicada na região. A força foi aplicada utilizando uma máquina de ensaios mecânicos com uma semiesfera na ponta da célula de carga, Fig. (3).

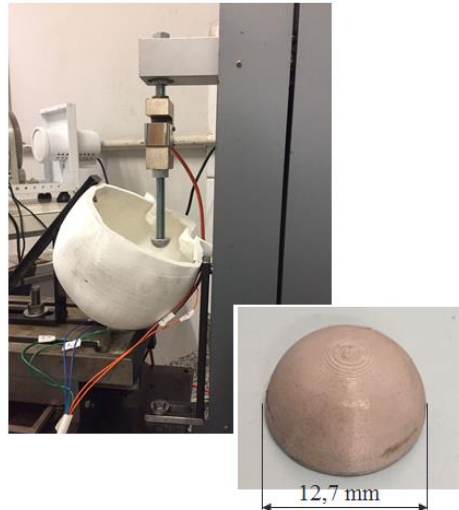


Figura 3. Aplicação de força utilizando uma máquina de ensaios mecânicos

Para medir a deformação provocada pela carga foi utilizado um extensômetro do tipo roseta colado na parte externa do crânio, porém na mesma região de aplicação da carga, Fig. (4). O modelo do extensômetro foi escolhido para se determinar o campo de tensões, uma vez que não se conhece a direção das tensões principais. Foi utilizado um extensômetro modelo PA – 06 – 125 RE – 120, fabricado pela Excel Sensores Ltda.

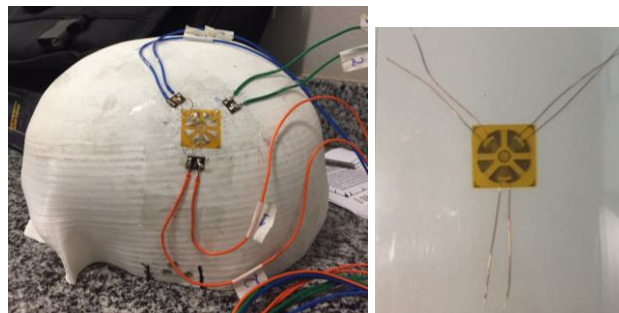


Figura 4. Localização do extensômetro para medição da deformação

Cada extensômetro foi ligado em $\frac{1}{4}$ de ponte, Fig. (5), num sistema de aquisição (Lynx), visando amplificar e monitorar os sinais de saída para obter os valores das deformações.

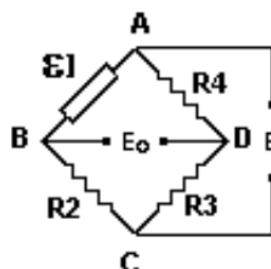


Figura 5 – Ligação em $\frac{1}{4}$ de ponte

Na sequência, foi utilizada a Eq. (1) para a determinação da deformação obtida em cada extensômetro.

$$\frac{E_0}{E} = \frac{K \varepsilon}{4+2 K \varepsilon} \quad (1)$$

Onde E_0 é a tensão obtida na saída do sistema de aquisição, E é a tensão de alimentação, K é o fator de sensibilidade do extensômetro e ε é a deformação obtida.

Os valores das deformações encontradas por cada extensômetro são utilizados para a determinação das deformações principais utilizando as Eqs. (2) e (3).

$$\varepsilon_1 = 0,5 (\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) + 0,5 \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + (\gamma_{xy})^2} \quad (2)$$

$$\varepsilon_2 = 0,5 (\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) - 0,5 \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + (\gamma_{xy})^2} \quad (3)$$

As componentes cartesianas da deformação ε_{xx} , ε_{yy} e γ_{xy} são determinadas resolvendo o sistema das Eqs. (4), (5) e (6), considerando os três extensômetros alinhados conforme esquema da Fig. (6), de acordo com as direções A, B e C.

$$\varepsilon_A = \varepsilon_{xx} \cos^2 \theta_A + \varepsilon_{yy} \sin^2 \theta_A + \gamma_{xy} \sin \theta_A \cos \theta_A \quad (4)$$

$$\varepsilon_B = \varepsilon_{xx} \cos^2 \theta_B + \varepsilon_{yy} \sin^2 \theta_B + \gamma_{xy} \sin \theta_B \cos \theta_B \quad (5)$$

$$\varepsilon_C = \varepsilon_{xx} \cos^2 \theta_C + \varepsilon_{yy} \sin^2 \theta_C + \gamma_{xy} \sin \theta_C \cos \theta_C \quad (6)$$

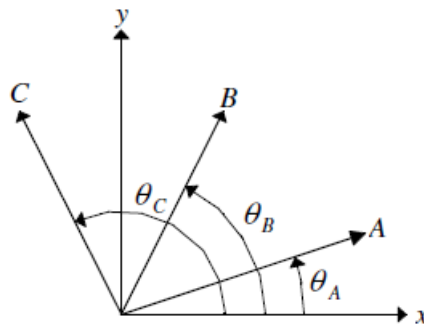


Figura 6 – Posicionamento dos extensômetros em relação aos eixos x e y

Os valores das deformações principais encontradas experimentalmente serão utilizados na validação do modelo de análise numérica por elementos finitos.

3. RESULTADOS

Para a determinação da força a ser aplicada na região determinada foi utilizada como base a pressão média de 25 mmHg (3,3kPa), representando uma PIC elevada. Como a área da região para a posição do hematoma foi determinada como $3,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, o valor da força aplicada foi de 11N.

Ao aplicar essa força utilizando uma máquina de ensaios mecânicos, o sistema de aquisição foi utilizado para obter a tensão de saída de cada extensômetro posicionado no crânio. A tensão de alimentação utilizada foi de 5V com um ganho de 200. O fator de sensibilidade do extensômetro utilizado é de 2,1. Assim, com esses dados foi utilizada a Eq. (1) para a determinação das deformações medidas em cada extensômetro.

Devido a ocorrência de possíveis erros, provavelmente na colagem ou na escolha do extensômetro foi possível medir a tensão de saída em apenas um extensômetro, que foi de 0,0884V. Portanto não foi possível determinar as deformações principais. Assim, utilizando-se da Eq. (1) o valor da deformação encontrada foi de $168 \mu \text{ (mm/mm)}$.

Os níveis de deformação obtidos foram muito pequenos, o que provavelmente exista a necessidade de escolha de um extensômetro mais adequado para a análise experimental.

Posteriormente novas análises experimentais serão feitas para determinar as deformações em todas as direções utilizando outros tipos de extensômetros que ainda serão estudados para obtenção de um melhor resultado, e com uma pressão que simule melhor a PIC. Esses dados experimentais serão utilizados para validar os resultados obtidos por uma simulação numérica por elementos finitos.

4. CONCLUSÃO

Pela análise experimental por extensometria utilizada foi possível observar que os níveis de deformação são muito pequenos, mesmo quando provocados por um valor que represente a PIC elevada. Isso exige, portanto, a utilização de sensores mais adequados para as medições.

Acredita-se ser possível utilizar a taxa de deformação para correlacionar com a variação da PIC, o que facilitaria possíveis métodos de medição não invasivos.

5. REFERÊNCIAS

- ALVES, H. A.; SANTOS, M. I. M. P.; MONTEIRO, M. A. A.; MORAIS, P. R.; MELO, F. C. L.; RIBEIRO, W. Análise dos parâmetros antropométricos da cabeça dos militares da força aérea brasileira no projeto de capacetes balísticos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 29, n. 3, p. 472-492, 2011.
- BERNARDINO JUNIOR, R.; QUEIROZ, M. M.; MÁXIMO, R. O.; TEIXEIRA, E.; LIZARDO, F. B.; VILARINHO, G. S.; SANTOS, J. W. Mensuração da espessura do osso da calota em parietais de crânios macerados. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 6, 2001.
- CANGUSSU, S. R. **Infecção na Monitoração Intraventricular da Pressão Intracraniana com Drenagem Contínua do Líquido Cefalorraquidiano**. 2006. 120f. Dissertação de Mestrado em Enfermagem – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- CARVALHO, S.; CARLOS, L.; PINTO, R.; COSTA, J.; SANTOS, F. Pressão Intracraniana - Recolha e Processamento de Sinais Biológicos. O Instituto Superior Técnico (IST) e a Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa, 2008. Material disponível em: < <https://nebm.ist.utl.pt/repositorio/download/888/0> > Acesso em: 15 de abril de 2014.
- DANTAS FILHO, V. P. **Aspectos técnicos da monitorização da pressão intracraniana pelo método subaracnóideo e análise dos fatores que influenciaram a evolução de 206 pacientes com traumatismo craniocéfálico grave**. 1999. 165f. Tese de Doutorado em Ciências Médicas – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.
- GIUGNO, K. M.; MAIA, T. R.; KUNRATH, C. L.; BIZZI, J. J. Tratamento da hipertensão intracraniana. **Jornal de Pediatria**, v. 79, n. 4, p. 287 – 296, 2003.
- MARMAROU A., BEAUMONT A. Physiology of the cerebrospinal fluid and intracranial pressure. **Youmans Neurological Surgery**, v. 1, p. 175-193, 2004.
- TOSHIKI, U. M. D.; BRANDON R. M. B. A.; WILLIAM T. Y.; ALAN R. H. Noninvasive assessment of intracranial pressure waveforms by using pulsed phase lock loop technology. **Journal of Neurosurgery**, v. 103, n. 2, p. 361-367, 2005.
- VILELA, G. H. F.; **Desenvolvimento de um sistema minimamente invasivo para monitorar a pressão intracraniana**. 2010. 127f. Tese de Doutorado em Física – Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.
- ZORZETTO, R. Sob pressão - Sensor permite monitorar de modo não invasivo alterações no cérebro causadas por traumas e pela gestação. Revista Pesquisa Fapesp, São Paulo, v. 221, julho 2014. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2014/07/15/sob-pressao/>>. Acesso em: 23 fevereiro 2015.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos à CAPES, CNPq, FAPEMIG, CINTESP e LPM.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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