
ESTUDO DO MODELO SIGMOIDAL DE BOLTZMANN NA PREDIÇÃO DE CURVAS REPRESENTATIVAS DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE ALÇAS CÓLICAS ÍNTEGRAS DE RATOS.

Mário C. Crispim da Silva (PDTA/FPTI-BR), Feng Chung Wu (Orientador), Maksoel A. Krauspenhar Niz (PDTA/FPTI-BR), Eduardo L. Konrad Burin (PDTA/FPTI-BR), Huei Diana Lee, João J. Fagundes, Juvenal R. Navarro Góes, e-mail: mariocrispimsilva@gmail.com.

Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Centro de Engenharias e Ciências Exatas/Engenharia Mecânica – Foz do Iguaçu – PR.

Palavras-chave: biomecânica, cólon, modelagem.

Resumo

O conhecimento do comportamento mecânico do cólon é importante, pois complicações decorrentes do rompimento poderiam ser evitadas. Com isso, o modelo sigmoidal de Boltzmann foi estudado quanto à capacidade de predição de curvas Força x Elongação que representam o padrão de deformação de cólons de ratos submetidos a um esforço axial de tração. Com os resultados, o modelo matemático proposto reproduziu de modo eficiente o comportamento mecânico desse material viscoelástico não linear.

Introdução

A análise da resistência mecânica das alças intestinais é fundamental, pois a sua ruptura promove altas taxas de morbimortalidade. Todavia, o seu estudo é complexo, pois apresentam morfologia heterogênea, anisotropia e propriedade viscoelástica não linear [1,2]. Visando avaliar o comportamento mecânico dessas estruturas, foi desenvolvido o ensaio Energia Total de Ruptura – ETR, o qual está fundamentado no Princípio Universal da Conservação de Energia [3]. Por meio deste teste biomecânico são geradas curvas Força x Elongação representativas do padrão de deformação de alças cólicas. Desse modo, a modelagem matemática dessas curvas torna possível a realização de predições e simulações que poderão auxiliar no desenvolvimento de novos materiais e métodos cirúrgicos.

Materiais e Métodos

Os procedimentos realizados neste trabalho foram aprovados pela Comissão de Ética na Experimentação Animal, segundo os princípios éticos adotados pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal. Foram utilizados 10 ratos machos da linhagem Wistar, de cada qual foi extraído quatro centímetros do cólon descendente a partir da reflexão peritoneal. Após, esses espécimes foram submetidos ao teste ETR, o qual possibilita a quantificação da energia absorvida pelo corpo de prova até a sua ruptura. Este atributo é obtido por meio do Sistema de Aquisição e Análise de Dados Biomecânicos – SABI 2.0 [4] através do cálculo da área de uma curva Força x Elongação gerada durante o ensaio biomecânico.

Para realizar as predições, foram considerados 10% dos pontos de cada curva Força x Elongação, sendo 5% correspondentes à parte inicial e 5% à parte final. Para o ajuste, utilizou-se o modelo sigmoidal de Boltzmann (Equação 1) de modo que o restante da curva fosse previsto pela equação. O coeficiente de determinação – R^2 (Equação 2), entre a curva obtida pelo ETR e a curva ajustada, foi calculado para cada corpo de teste. Os mesmos procedimentos foram também realizados para 20%, 30%, 40% e assim sucessivamente até 90% da totalidade dos pontos.

$$Y' = A_2 + \frac{(A_2 - A_1)}{1 + e^{\left(\frac{X - x_0}{dx}\right)}} \quad (1)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y - Y')^2}{\sum (Y - Y^*)^2} \quad (2)$$

onde:
 Y : força;
 X : alongação;
 A_1 : assintota inferior;
 A_2 : assintota superior;
 x_0 : ponto de inflexão da curva;
 dx : nível de espalhamento.

onde:
 Y : pontos da curva a ser ajustada;
 Y' : valores de Y estimados pelo modelo;
 Y^* : valor médio de Y .

Com o intuito de avaliar as predições, foram calculados as médias, os desvios padrão e os erros padrão das áreas das curvas obtidas pelo ETR (Controle), assim como das áreas das curvas delineadas pelo modelo de Boltzmann para cada porcentagem dos pontos avaliada. Os valores de R^2 dos ajustes realizados a 10%, 20%, 30% e, sucessivamente, até 90% dos pontos foram comparados ao grupo R^2 -controle, o qual é representado por valores de R^2 correspondentes a ajustes realizados considerando-se a totalidade dos pontos de cada curva Força x Elongação. Para análise estatística foi aplicado o teste de Dunnett, com nível de significância de 95%.

Resultados e Discussão

A Figura 1 representa exemplos de predição de uma curva Força x Elongação, ressaltando-se os pontos considerados para os ajustes. Na Tabela 1 estão representados os valores da média, do desvio padrão e do erro padrão das áreas das curvas Controle e das áreas das curvas ajustadas a 10%, 20% e 30% dos pontos. Na análise estatística não foram encontradas diferenças significativas ($p > 0,05$) na comparação entre as áreas das curvas Controle e as áreas das curvas ajustadas.

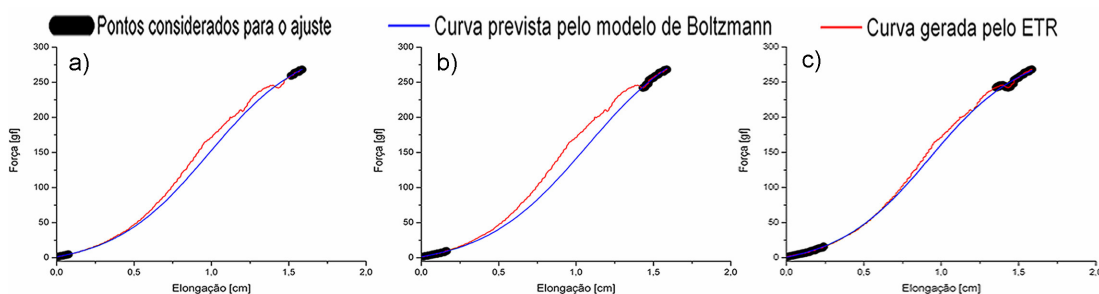


Figura 1 – Representação do ajuste das curvas Força x Elongação por meio do modelo de Boltzmann, ressaltando-se os pontos levados em consideração nas predições: a) 10%, b) 20% e c) 30%.

Os valores de R^2 obtidos na comparação entre as curvas geradas pelo ETR e as curvas previstas pelo modelo matemático estão expostos na

Tabela 2. Por meio da análise estatística, não foram encontradas diferenças significativas para os ajustes realizados a partir de 30% dos pontos ($p>0,05$).

Tabela 1 – Valores da média, desvio padrão e erro padrão das áreas das curvas Controle e das áreas das curvas previstas

	Controle	10%	20%	30%
Média (gf.cm)	338,27	319,39	339,07	333,24
Desvio Padrão	58,02	75,94	85,12	77,97
Erro Padrão	16,84	20,09	22,05	20,25

Tabela 2 – Valores da média dos coeficientes de determinação R^2 -controle e dos ajustes para 10%, 20% e 30% dos pontos

	R^2-controle	10%	20%	30%
Média	0,997	0,981	0,978	0,984

Na busca por uma equação constitutiva que represente o padrão de deformação de segmentos intestinais, modelos matemáticos foram ajustados às curvas Força x Elongação, dentre eles o sigmoidal de Boltzmann foi o que apresentou os melhores resultados [5]. A qualidade do ajuste realizado está relacionada à capacidade do modelo representar a área e a morfologia da curva. Neste trabalho, para ajustes realizados a partir de 30% dos pontos não foram encontradas diferenças significativas com relação às áreas e aos coeficientes de determinação. Este fato demonstra que essa porcentagem representa o limite inferior para o qual o modelo se ajusta eficientemente.

Conclusões

O modelo de Boltzmann se mostrou eficiente na modelagem e na predição de curvas Força x Elongação a partir de 30% dos pontos considerando-se os parâmetros área e coeficiente de determinação – R^2 .

Agradecimentos

Ao Programa de Desenvolvimento Tecnológico Avançado – PDTA/FPTI-BR – pela concessão de bolsa de iniciação científica.

Referências

1. Y. C. Fung. Biomechanics – Mechanical properties of living tissues, Springer-Verlag Inc., New York; 2 edition.
2. A. Maciel; R. Boulic; D. Thalmann in International Symposium on Surgery Simulation and Soft Tissue Modeling; Juan-Les-Pins, 2003.
3. F. C. Wu; H. D. Lee; M. A. K. Niz; M. L. S. Ayrizono; C. S. R. Coy; J. R. N. Góes; J. J. Fagundes. Acta Cirúrgica Brasileira, 2006, 21(2).
4. R. F. Voltolini; J. Metz; R. B. Machado; H. D. Lee; J. J. Fagundes; J. R. N. Góes in 4th Congresso of Logic Applied to Technology, Marília, 2004.
5. M. A. K. Niz; E. L. K. Burin; F. C. Wu; H. D. Lee; F. M. A. Nogueira; J. J. Fagundes; J. R. N. Góes in X CBIS, Florianópolis, 2006.