

MAKSOEL AGUSTIN KRAUSPENHAR NIZ (UNIOESTE) , WU FENG CHUNG , HUEI DIANA LEE , EDUARDO L. KONRAD BURIN , FERNANDO MARQUES DE ALMEIDA NOGUEIRA , JOÃO JOSÉ FAGUNDES , JUVENAL RICARDO NAVARRO GÓES .

maks.niz@gmail.com - UNIOESTE

O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade de três modelos matemáticos para o ajuste de curvas Força x Elongação de segmentos do íleo terminal de ratos. A importância desse estudo se deve ao fato de que tais segmentos são frequentemente utilizados em cirurgias de reconstrução do trânsito digestório. Sendo assim, 10 segmentos íntegros de íleo terminal foram submetidos ao ensaio biomecânico ETR, obtendo-se as respectivas curvas Força x Elongação, as quais representam o padrão de deformação desses tecidos. Após, essas curvas foram ajustadas aos modelos sigmoidais de Boltzmann, de Chapman e Logístico por meio do aplicativo ORIGIN 7.5. Dentro das características analisadas, os modelos de Boltzmann e de Chapman mostraram-se eficientes para a representação matemática do padrão de deformação dos segmentos de intestino delgado analisados.

Biomecânica, modelos matemáticos, íleo terminal.

Introdução

Em cirurgias do aparelho digestório, ocorre frequentemente a utilização de segmentos do íleo terminal na reconstrução desse trânsito. Em decorrência a esse fato, o estudo do comportamento mecânico desses tecidos torna-se importante pois busca uma compreensão maior das propriedades físicas de diferentes regiões do trato intestinal, possibilitando a avaliação da aplicabilidade de tais segmentos em cirurgias de reconstrução intestinal. Por se tratar de um material biológico, a propriedade viscoelástica não linear inerente a esses tecidos torna o seu estudo complexo [1]. No entanto, acredita-se que o teste Energia Total de Ruptura - ETR possibilite uma análise integral do comportamento de segmentos intestinais quando submetidos a um esforço de tração variável com o tempo [2]. Fundamentado no Princípio Universal da Conservação de Energia, esse teste possibilita a quantificação da energia necessária para promover o rompimento da parede intestinal, sendo esse atributo calculado por meio da integralização da curva Força x Elongação gerada durante o ensaio. Tendo-se em vista que uma das linhas de pesquisa na análise do comportamento desses materiais consiste na busca de uma equação constitutiva capaz de representar matematicamente o seu processo de deformação, neste trabalho foram avaliados os modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico para o ajuste de curvas Força x Elongação de segmentos íntegros do íleo terminal de ratos.

Material e Métodos

Os procedimentos realizados neste trabalho, foram aprovados pela Comissão de Ética na Experimentação Animal, segundo os princípios éticos adotados pelo Colégio Brasileiros de Experimentação Animal. Foram utilizados 10 ratos machos, linhagem Wistar (*Rattus norvegicus albinus*), provenientes do Centro de Bioterismo da UNICAMP, com peso variando de 300 a 350 gramas e criados sob condições semelhantes. De cada animal foram retirados quatro centímetros do íleo terminal, sendo esses corpos de teste submetidos ao ensaio biomecânico Energia Total de Ruptura - ETR [2]. Esse ensaio possibilita a quantificação da energia acumulada necessária para promover a ruptura de um segmento de alça, denominada energia total de ruptura. Esse atributo é calculado por meio da integração do gráfico Força x Elongação, obtido para cada espécime, durante o teste. Desse modo, foram obtidas as curvas Força x Elongação representativas dos 10 espécimes e calculados os valores das suas respectivas áreas. Após esses procedimentos, essas curvas foram ajustadas aos modelos sigmoidais de Boltzmann (Equação 1), de Chapman (Equação 2) e Logístico (Equação 3), originando assim três equações representativas para cada espécime, sendo que as áreas sob essas funções também foram calculadas. Os ajustes foram realizados utilizando-se o aplicativo ORIGIN 7.5 por meio do qual também foram calculados os valores do coeficiente de determinação R^2 correspondente a cada ajuste.

$$Y = A_1 + \frac{(A_2 - A_1)}{1 + e^{\left(\frac{X - x_0}{dx}\right)}} \quad (\text{Eq. 1}) \quad Y = A_2(1 - e^{-bX})^c \quad (\text{Eq. 2}) \quad Y = \frac{A_2}{1 + b^{-k}X} \quad (\text{Eq. 3})$$

Para a avaliação dos modelos, foram calculados as médias, os desvios padrão e os erros padrão das áreas das curvas obtidas pelo SABI 2.0 (Grupo Controle) e das áreas das curvas obtidas pelos ajustes aos modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico. A análise estatística foi realizada por meio do aplicativo GraphPad InStat (versão 3.06 para Windows), utilizando-se o teste paramétrico de Tukey para 95% de significância.

Resultados e Discussão

A Figura 1 representa uma curva obtida pelo experimento ETR (Figura 1-a), juntamente com a sobreposição de curvas delineadas pelos modelos de Boltzmann (Figura 1-b), de Chapman (Figura 1-c) e Logístico (Figura 1-d). A linha de cor preta corresponde à curva obtida no experimento e as linhas vermelhas são as encontradas pelo ajuste.

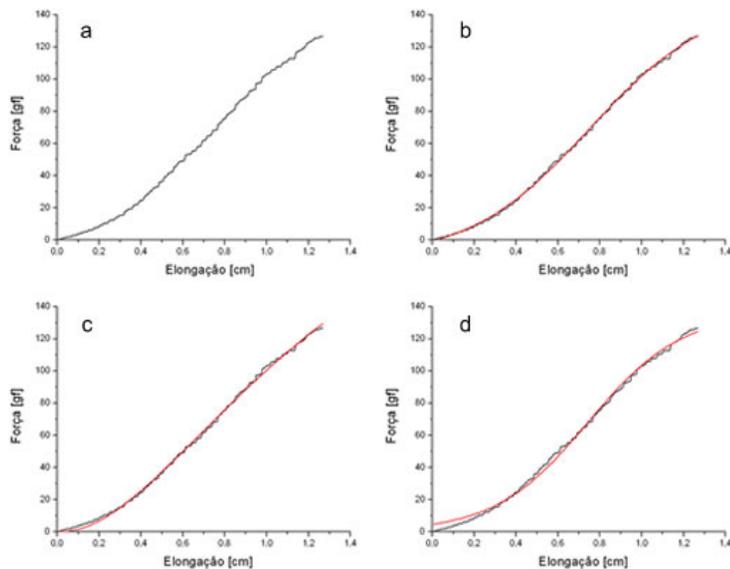


Figura 1 - Representação de curva obtida no experimento ETR (Figura 1-a) e dos ajustes aos modelos de Boltzmann (Figura 1-b), de Chapman (Figura 1-c) e Logístico (Figura 1-d).

Na Tabela 1, são apresentados os valores da média, do desvio padrão e do erro padrão das áreas das curvas obtidas durante o experimento ETR (Grupo controle) assim como das áreas correspondentes aos modelos analisados (Boltzmann, Chapman e Logístico).

Tabela 1 - Valores da média, do desvio padrão e do erro padrão das áreas das curvas obtidas no ensaio ETR (Grupo controle) e das áreas das funções obtidas nos ajustes (Boltzmann, Chapman e Logístico).

	Grupo Controle	Boltzmann	Chapman	Logístico
<i>Média (gf.cm)</i>	70,62	70,79	70,70	91,34
<i>Desvio padrão</i>	14,32	14,36	14,45	14,53
<i>Erro padrão</i>	4,53	4,54	4,57	4,59

Após análise estatística, comparando-se as áreas das curvas obtidas pelo SABI 2.0 (Grupo controle) com as áreas das curvas delineadas pelo modelo de Boltzmann, encontrou-se p-valor > 0,05, sendo esse o mesmo valor obtido na comparação Grupo controle versus Chapman, mostrando que as áreas determinadas por esses dois modelos não apresentaram diferença significativa quando comparadas às áreas das curvas obtidas nos ensaios. Na comparação Grupo controle versus Logístico obteve-se diferença altamente significativa com p-valor < 0,001. Os valores das médias dos coeficientes de determinação para os três modelos

analisados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores das médias dos coeficientes de determinação (R^2) encontrados para os ajustes aos modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico.

	Boltzmann	Chapman	Logístico
R^2 (média)	0,9975	0,9971	0,9935

Após a realização dos ensaios ETR, notou-se que as curvas Força x Elongação de segmentos do íleo terminal de ratos apresentam, quase na totalidade, morfologia sigmoidal. Em virtude desse fato, neste trabalho foram avaliados, para o ajuste dessas curvas Força x Elongação, os modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico. Esses modelos são amplamente utilizados para o equacionamento de diferentes fenômenos, como o comportamento térmico de produtos alimentícios e o padrão de crescimento de bovinos e ovinos, os quais apresentam também morfologia sigmoidal [3, 4].

Na literatura ainda não existe registro da utilização dos modelos de Chapman e Logístico no ajuste de curvas representativas do processo de deformação de segmentos intestinais. Todavia, em trabalhos anteriores, o modelo de Boltzmann já foi aplicado para o equacionamento de curvas Força x Elongação de segmentos de cólon descendente de ratos, com resultados satisfatórios [5].

O modelo de Boltzmann apresenta-se com quatro parâmetros (A_1 , A_2 , X_0 e dx). Acredita-se que o fator A_1 seja o possível responsável pela alta precisão do ajuste, pois possibilita uma maior flexibilidade da curva. No entanto, tanto o modelo Logístico quanto o de Chapman apresentam-se com três parâmetros e esse último modelo de ajuste mostrou-se também adequado para a representação matemática das curvas avaliadas, dentro dos critérios analisados neste trabalho. Esse fato sugere que a realização de novos estudos com a utilização dessa equação se torne necessária, pois, acredita-se que quanto menor a quantidade de parâmetros pertencentes ao modelo aplicado, mais simples se torna a compreensão física da equação e, conseqüentemente, do fenômeno avaliado.

Conclusão

De acordo com os resultados apresentados, os modelos sigmoidais de Boltzmann e de Chapman mostraram-se eficientes, dentro dos critérios especificados neste trabalho, para a representação matemática das curvas Força x Elongação de segmentos de íleo terminal de ratos. Como trabalhos futuros, pretende-se estudar o padrão de deformação de outras regiões do trato intestinal assim como avaliar tratamentos farmacológicos e técnicas cirúrgicas por meio de análise matemática proporcionada pelo ajuste de curvas.

Agradecimentos

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

Referências Bibliográficas

1. Y. C. Fung. Biomechanics - Mechanical properties of living tissues. Springer-Verlag Inc. New York, USA, 1993. 2 edition.
2. F. C. Wu, H. D. Lee; R. B. Machado; S. Dalmás; C. S. R. Coy; J. R. N. Góes; J. J. Fagundes. Acta Cir Brás. 2004, 19(6).
3. A. R. Lespinard; P. R. Salgado; R. H. Mascheroni in Workshop on Mathematical Modelling of Energy and Mass Transfer Processes, and Applications, Rosario, Argentina. 2005
4. O. Facó; R. N. B. Lobo; R. M. Filho; A. A. A. Moura. R. Bras. Zootec, 2002, v.31, n.5, p.1944-1952.
5. E. L. K. Burin; M. A. K. Niz; H. D. Lee; F. M. A. Nogueira; J. J. Fagundes; J. R. N. Góes; F. C. Wu in VI Workshop de Informática Médica, Vila Velha, 2006.