

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

eduardo_burin@yahoo.com.br - UNIOESTE

O rompimento de uma alça intestinal ocasiona uma série de complicações em virtude do extravasamento do material fecal contido em seu interior para a cavidade abdominal. Desse modo, o objetivo desse trabalho foi realizar um estudo do comportamento mecânico de segmentos de alça cólica íntegra por meio do ajuste de curvas Força x Elongação aos modelos matemáticos de Boltzmann, de Chapman e Logístico. Após o delineamento dos procedimentos, foi observado que, dentro das limitações especificadas, o modelo sigmoidal de Boltzmann proporcionou o melhor ajuste, podendo, desse modo, ser utilizado para descrever o padrão de deformação dessas estruturas, quando submetidas ao movimento axial de tração.

ajustes de curva; biomecânica; cólon descendente;

Introdução

O estudo das propriedades mecânicas de segmentos de alça intestinal é importante, pois complicações graves decorrentes de sua ruptura poderiam ser evitadas. Desse modo, no intuito de avaliar a resistência mecânica dessas estruturas biológicas, foi desenvolvido o ensaio biomecânico Energia Total de Ruptura - ETR [1]. Baseado no Princípio Universal da Conservação de Energia, esse teste possibilita a quantificação da energia total necessária para ocasionar o rompimento de um segmento de tubo digestório, sendo esse atributo determinado por meio do cálculo da área de um gráfico Força x Elongação o qual representa o padrão de deformação do corpo de prova analisado. A alça cólica apresenta propriedade viscoelástica não linear [2]. Desse modo, para a melhor compreensão do seu comportamento quanto à sua resistência mecânica, torna-se necessário o estudo do padrão de deformação do ponto de vista matemático. Sendo assim, nesse trabalho foi avaliada a viabilidade da realização do ajuste de curvas Força x Elongação originadas por meio do teste ETR, aos modelos sigmoidais de Boltzmann, de Chapman e Logístico.

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 - COBEA (Protocolo número 598-1). Foram utilizados 10 ratos machos da linhagem Wistar, de cada qual foi extraído um corpo de teste representado por quatro centímetros de cólon descendente a partir da deflexão peritoneal. Esses espécimes, após serem submergidos em uma solução contendo soro fisiológico e cloridrato de papaverina, foram submetidos ao teste biomecânico ETR [1], o qual é composto pelos seguintes componentes - Figura 1.

- Corpo de prova (segmento de cólon descendente) - Figura 1-a;
- Sistema de tração - Figura 1-b;
- Célula de carga da balança Mettler-Toledo SB8000 - Figura 1-c;
- Polígrafo Mingograf - Figura 1-d;
- Computador com interface serial RS232 - Figura 1-e;
- Sistema de Aquisição e Análise de Dados Biomecânicos - SABI 2.0 - Figura 1-e.

Após o posicionamento do corpo de teste no sistema, a balança era tarada e o movimento de tração iniciado a uma velocidade de um centímetro por minuto. A força atuante no espécime era então capturada pela célula de carga da balança e enviada ao microcomputador, no qual encontra-se instalado o aplicativo SABI 2.0 [3]. Por meio desses procedimentos, foram delineadas as curvas Força x Elongação representativas de cada espécime e calculadas as suas respectivas áreas, as quais correspondem ao atributo Energia Total de Ruptura.

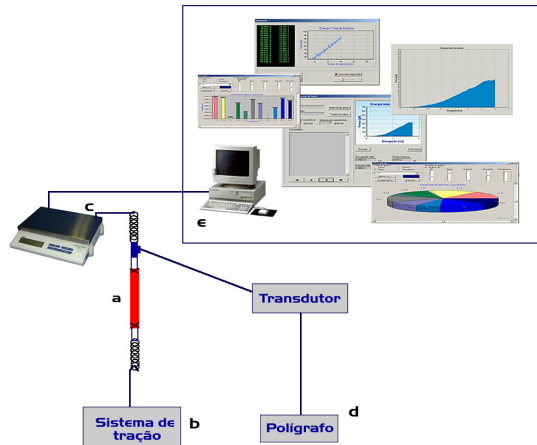


Figura 1 - Representação esquemática do teste ETR. a) segmento de cólon, b) sistema de tração, c) célula de carga, d) polígrafo e e) computador com interface serial e SABI 2.0 [1].

Posteriormente, essas curvas geradas por meio do aplicativo SABI 2.0 foram ajustadas aos modelos matemáticos de Boltzmann, de Chapman e Logístico utilizando-se o aplicativo Origin 7.5. Com isso, foram obtidas três curvas ajustadas para cada espécime, e suas áreas calculadas. Os modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico são representados pelas equações 1, 2 e 3, respectivamente.

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

$$Y = A_2(1 - e^{-bX})^c \quad (2)$$

$$Y = \frac{A_2}{1 + b^{-kX}} \quad (3)$$

No intuito de quantificar a qualidade dos ajustes, foram calculados as médias, os desvios padrão e os erros padrão das áreas das curvas obtidas pelo SABI 2.0 (Controle) e das áreas das curvas obtidas pelos ajustes aos modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico. Além desse parâmetro, analisou-se também o coeficiente de determinação - R^2 - o qual foi calculado para cada ajuste. A análise estatística foi realizada por meio do aplicativo GraphPad InStat 3.06, utilizando-se o teste paramétrico de Tukey com nível de significância de 95%.

Resultados e Discussão

Um gráfico obtido pelo SABI 2.0 (preto) sobreposto às curvas delineadas pelas funções de Boltzmann, de Chapman e Logístico (vermelho), respectivamente, é representado na Figura 2. Na Tabela 1, por sua vez, estão expostos os valores da média, do desvio padrão e do erro padrão das áreas das curvas obtidas pelo SABI 2.0 (Controle) e das áreas das curvas obtidas pelos ajustes aos modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico.

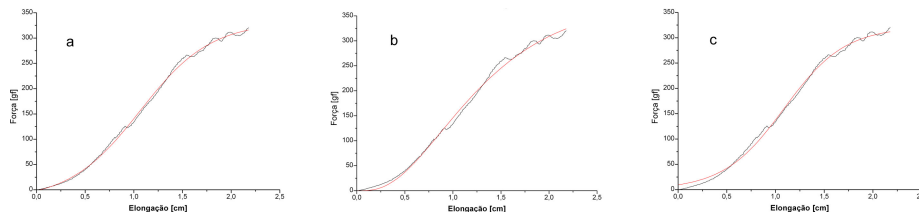


Figura 2 - Representação de curva obtida no experimento ETR com as respectivas funções ajustadas pelos modelos: a) de Boltzmann, b) de Chapman e c) Logístico.

Tabela 1 - Valores da média, do desvio padrão e do erro padrão das áreas das curvas obtidas no ensaio ETR (Controle) e das áreas das curvas obtidas pelos modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico.

	Controle	Boltzmann	Chapman	Logístico
Média [gf.cm]	270,51	270,59	268,80	272,32
Desvio Padrão	73,99	73,99	74,00	74,47
Erro Padrão	23,40	23,39	23,40	23,55

Após análise estatística, utilizando-se o teste paramétrico de Tukey com nível de significância de 95%, constatou-se que houve diferença estatisticamente significativa para as

comparações Controle vs Chapman e Controle vs Logístico, ambas com p-valor < 0,001. Por outro lado, para a comparação Controle vs Boltzmann, obteve-se p-valor > 0,05. Em relação ao coeficiente de determinação - R^2 , este apresentou valores médios de 0,998, 0,997 e 0,995 para os ajustes delineados por meio dos modelos de Boltzmann, de Chapman e Logístico, respectivamente.

Em virtude dos altos índices de morbidade e mortalidade ocasionados pelo rompimento das alças intestinais, nesse trabalho, foi avaliada a viabilidade da realização do ajuste de curvas representativas do padrão de deformação desses materiais aos modelos matemáticos. Essa técnica possibilita a sintetização de informações em um pequeno conjunto de parâmetros interpretáveis fisicamente, o que torna a análise do fenômeno mais completa.

Em cada caso, a equação a ser utilizada para a realização de ajustes deve apresentar morfologia semelhante à da disposição espacial dos dados obtidos experimentalmente, além de possuir parâmetros com significado físico. Desse modo, em trabalhos anteriores, curvas Força x Elongação originadas por meio do teste ETR, foram ajustadas ao modelo sigmoidal de Boltzmann de modo eficiente [4]. A escolha desse modelo matemático se deu após a constatação de que o comportamento apresentado pelos segmentos de alça intestinal, após aplicação de força axial de tração variável com o tempo, é sigmóide. No entanto, nesse trabalho, buscando-se confrontar Boltzmann frente a outras equações que apresentam a mesma característica sigmoidal, curvas Força x Elongação representativas do padrão de deformação de segmentos de cólon descendente de ratos provenientes do teste ETR, foram ajustadas aos modelos matemáticos de Boltzmann, de Chapman e Logístico.

De acordo com os resultados encontrados, constatou-se que os valores das áreas obtidas tanto pelo modelo de Chapman quanto pelo modelo Logístico apresentaram diferença altamente significativa ($p < 0,001$) quando comparados aos valores reais das áreas das curvas obtidas pelo SABI 2.0. O modelo de Chapman subestimou enquanto o modelo Logístico superestimou esse valor, o que os torna, nesse trabalho, inadequados para o equacionamento das curvas Força x Elongação. No entanto, observou-se que, dentro dos critérios avaliados, o modelo sigmoidal de Boltzmann mostrou-se, mais uma vez, adequado para o equacionamento do padrão de deformação de segmentos íntegros do cólon descendente de ratos, pois além das áreas ($p > 0,05$), apresentou o coeficiente de determinação mais elevado (0,998). O fato que possivelmente levou Boltzmann a desempenhar o melhor ajuste dentre os modelos comparados é a presença do parâmetro A_1 , o qual possibilita o deslocamento da assíntota inferior do gráfico em relação ao eixo das ordenadas, garantindo assim, maior maleabilidade e, conseqüentemente, maior qualidade das regressões das curvas.

Conclusões

Neste trabalho foi observado que o modelo sigmoidal de Boltzmann mostrou-se o mais adequado para o equacionamento das curvas Força x Elongação de segmentos de cólon íntegro obtidas por meio do teste Energia Total de Ruptura podendo, desse modo, ser utilizado para representar o padrão de deformação dessas estruturas quando submetidas à esse ensaio biomecânico.

Como trabalhos futuros, pretende-se avaliar diferentes modelos matemáticos para cada região do trato intestinal, assim como determinar o comportamento da curva dos espécimes sob teste após diferentes métodos de terapia.

Agradecimentos

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

Referências Bibliográficas

1. 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).
2. Y. C. Fung. Biomechanics - Mechanical properties of living tissues. Springer-Verlag Inc. New York, USA, 1993. 2 edition.
3. R. F. Voltolini; J. Metz; R. B. Machado; H. D. Lee; J. J. Fagundes; J. R. N. Góes in 4th Congress of Logic Applied to Technology, Marília, 2004.
4. 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.