



## ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS TESTES BIOMECÂNICOS ENERGIA INTERNA DE DEFORMAÇÃO E ENERGIA TOTAL DE RUPTURA<sup>1</sup>.

EDUARDO LUCAS KONRAD BURIN<sup>2</sup>, FENG CHUNG WU<sup>3</sup>, HUEI DIANA LEE<sup>4</sup>, RENATO BOBSIN MACHADO<sup>5</sup>, JOÃO JOSÉ FAGUNDES<sup>6</sup>, JUVENAL RICARDO NAVARRO GÓES<sup>6</sup>.

Escrito para apresentação na III JORNADA CIENTÍFICA DA UNIOESTE  
15 a 17 de junho de 2005 - Unioeste - PRPPG - Campus de Marechal Cândido  
Rondon - PR

**RESUMO:** Existem diversos métodos baseados em conceitos físico-mecânicos com a finalidade de caracterizar a resistência intrínseca da parede intestinal, no entanto, atributos importantes relacionados aos materiais viscoelásticos não são analisados durante os ensaios biomecânicos. Com isso, desenvolveu-se o teste Energia Total de Ruptura baseado no Princípio Universal da Conservação de Energia, pois acredita-se que esse teste avalia de modo mais completo o comportamento de alças intestinais. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma análise crítica em relação aos testes Energia Interna de Deformação e Energia Total de Ruptura. Esse estudo comparativo demonstrou que o teste Energia Total de Ruptura utiliza-se de maior número de atributos essenciais para promover a análise da resistência da parede intestinal a qual possui propriedade viscoelástica não linear.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomecânica, Cólon, Energia de Ruptura.

## COMPARATIVE STUDY BETWEEN INTERNAL ENERGY OF DEFORMATION AND TOTAL ENERGY OF RUPTURE BIOMECHANICAL TESTS.

**ABSTRACT:** There are many methods based on physic-mechanical concepts with the objective of characterizing the intrinsic resistance of the intestinal wall. Nevertheless, important attributes related with viscoelastic materials are not analyzed during biomechanical essays. This led to the development of the Total Energy of Rupture test based on the Universal Principle of Energy Conservation, which is thought to provide a more complete way of evaluation of the intestinal segments. The objective of this work was to perform a comparative analysis between Internal Energy of Deformation and Total Energy of Rupture. This study demonstrated that Total Energy of Rupture considers a larger number of essential attributes to promote the resistance analysis of the intestinal wall, which possesses the non-linear viscoelastic property.

**KEY WORDS:** biomechanics, colon, energy of rupture.

<sup>1</sup> Projeto de pesquisa desenvolvido no Laboratório de Bioinformática – LABI, UNIOESTE, Foz do Iguaçu – PR, Avenida Tarquínio Joslin dos Santos, 1300, Caixa Postal 961 CEP 85870-900, Foz do Iguaçu, PR Tel: 45 3576-8114.

<sup>2</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica, Bolsista de Iniciação Científica do Parque Tecnológico de Itaipu (PTI) e estagiário do LABI; E-mail: eduardo\_burin@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Prof. Doutor da Coloproctologia da UNICAMP, Campinas – SP; Coord. da área médica do LABI.

<sup>4</sup> Prof. Mestre do CECE da UNIOESTE, Foz do Iguaçu - PR; Coord. geral do LABI; Doutoranda, ICMC – USP, São Carlos-SP.

<sup>5</sup> Prof. Mestre do CECE da UNIOESTE, Foz do Iguaçu – PR; Coord. da área computacional do LABI.

<sup>6</sup> Prof. Doutor da Coloproctologia da UNICAMP, Campinas – SP; Pesquisador Colaborador do LABI.

**INTRODUÇÃO:** O estudo da resistência intrínseca da parede intestinal é importante, pois a quebra da sua integridade está relacionada aos índices de morbidade e mortalidade (FAGUNDES, 1990; WU, 2003). Para a caracterização dessa resistência, existem vários métodos fundamentados em conceitos físico-mecânicos. No entanto, atributos essenciais relacionados aos materiais viscoelásticos, tais como deformação, tempo de ruptura e módulo de elasticidade, não são considerados durante a análise (WU et al., 2004). Este trabalho tem como finalidade, realizar um estudo teórico comparativo de dois testes biomecânicos, os quais utilizam a energia acumulada para determinar a resistência intrínseca de material biológico com propriedade viscoelástica não linear, tal qual a alça intestinal.

**MATERIAIS E MÉTODOS:** Neste trabalho foi realizado um estudo teórico de dois testes biomecânicos utilizados para determinar a resistência intrínseca da parede do cólon após aplicação de força variável com o tempo:

- Energia Interna de Deformação (NIERI, 1999);
- Energia Total de Ruptura (WU et al., 2004).

O teste Energia Interna de Deformação, tem como objetivo quantificar a energia acumulada em um espécime durante o período elástico da deformação. Primeiramente, é traçada a função Tensão x Deformação e, posteriormente, a área sob o gráfico é obtida, a qual corresponde à energia acumulada durante o processo de deformação elástica do material biológico. Para a realização do ensaio, é utilizada uma Prensa Universal (Ottawa Texture Measurement System, OTMS), incluindo os componentes de acordo com a representação esquemática (Figura 1):

- Sistema de Tração (Figura 1-a) ;
- Presilhas (Figura 1-b);
- Alça intestinal (Figura 3-c);
- Célula de Carga de 50g (Figura 1-d);
- Microcomputador (Figura 1-e);
- Sistema de Aquisição de dados (Figura 1-e).

Antes de iniciar o teste biomecânico, é necessária a aferição da área de seção transversal dos espécimes para a determinação da tensão. Após, cada extremidade do segmento de cólon é fixada ao sistema por meio de prensas universais. O tensionamento da alça é ocasionado pelo sistema de tração que produz movimento de arrasto a velocidade constante (meio milímetro por segundo). A força gerada é transferida para o espécime e, conseqüentemente, para a célula de carga. Os dados são analisados pelo Microcomputador através do sistema de aquisição de dados e, por meio desse aplicativo, a função Tensão x Deformação obtida (Figura 2). A área sob o gráfico é calculada por meio da integração numérica e corresponde à energia intrínseca acumulada durante o processo de deformação elástica. O teste Biomecânico Energia Total de Ruptura é baseado no Princípio Universal de Conservação da Energia e tem como objetivo, quantificar a energia total acumulada no espécime até o momento de ruptura. Durante o ensaio, é traçada a função Força x Elongação em tempo real e, posteriormente, determinada a área sob o gráfico, a qual corresponde à energia acumulada durante o processo de deformação. É importante ressaltar o modo com que o espécime é fixado ao sistema de tração neste teste biomecânico. As suas extremidades são amarradas em canhões de cateter, respeitando assim, a sua morfologia cilíndrica.

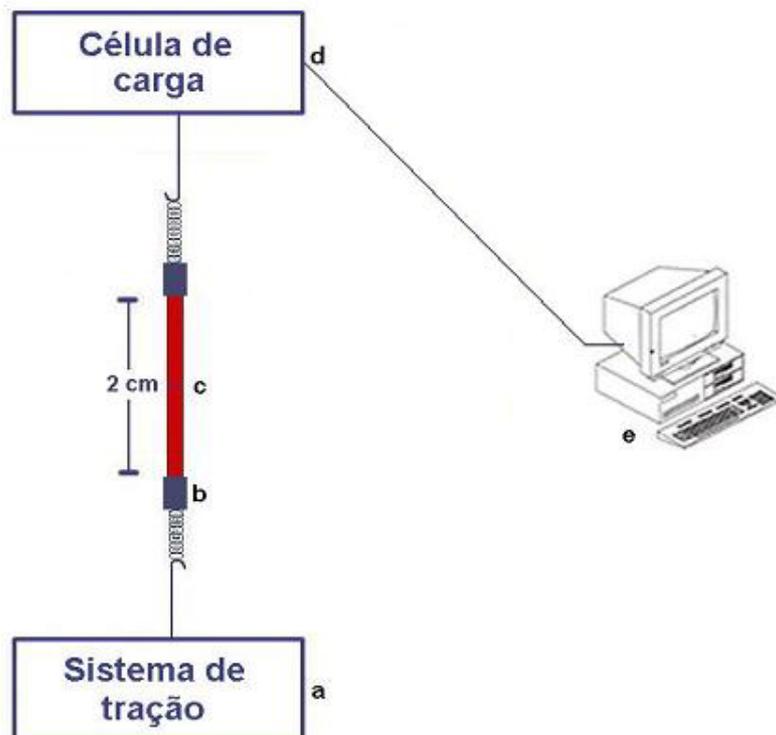


Figura 1. Disposição dos componentes do Teste Energia Interna de Deformação.

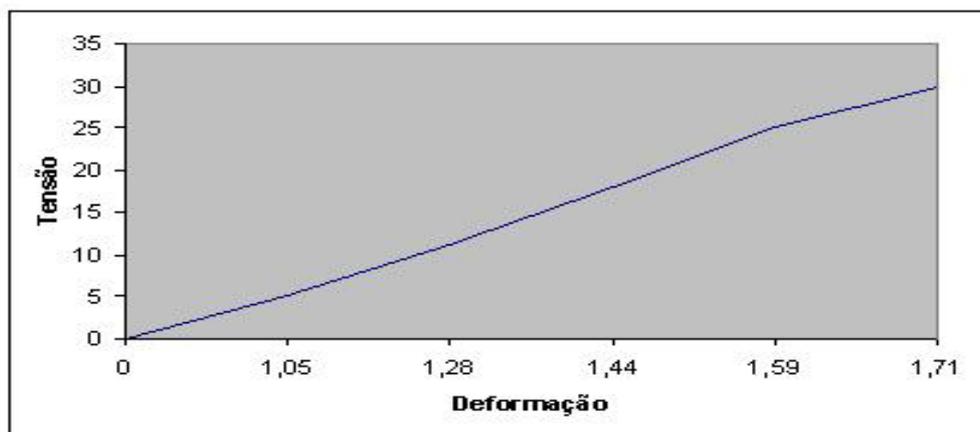


Figura 2. Gráfico Tensão x Deformação – a área sob o gráfico corresponde a EID (NIERI, 1999).

Para a montagem do sistema são necessários os seguintes componentes (Figura 3):

- Sistema de tração B.Braun / Modelo 871012 (Figura 3-a);
- Canhão de cateter nº18 com luz vedada (Figura 3-b);
- Alça intestinal (Figura 3-c);
- Canhão de cateter nº18 com luz aberta (Figura 3-d);
- Torneira de tripla via (Figura 3-e);
- Célula de carga da balança de precisão Metter-Toledo SB8000 (Figura 3-f);
- Balança de precisão Metter-Toledo SB8000 (Figura 3-g);
- Microcomputador (Figura 3-h);
- Sistema de Aquisição e Análise de Dados Biomecânicos (SABI 2.0) (Figura 3-h);

- Seringa de plástico 10ml posicionada no transdutor de pressão do polígrafo (Figura 3-i).
- Polígrafo Siemens-Elma – Modelo 804 Mingograf (Figura 3-j);

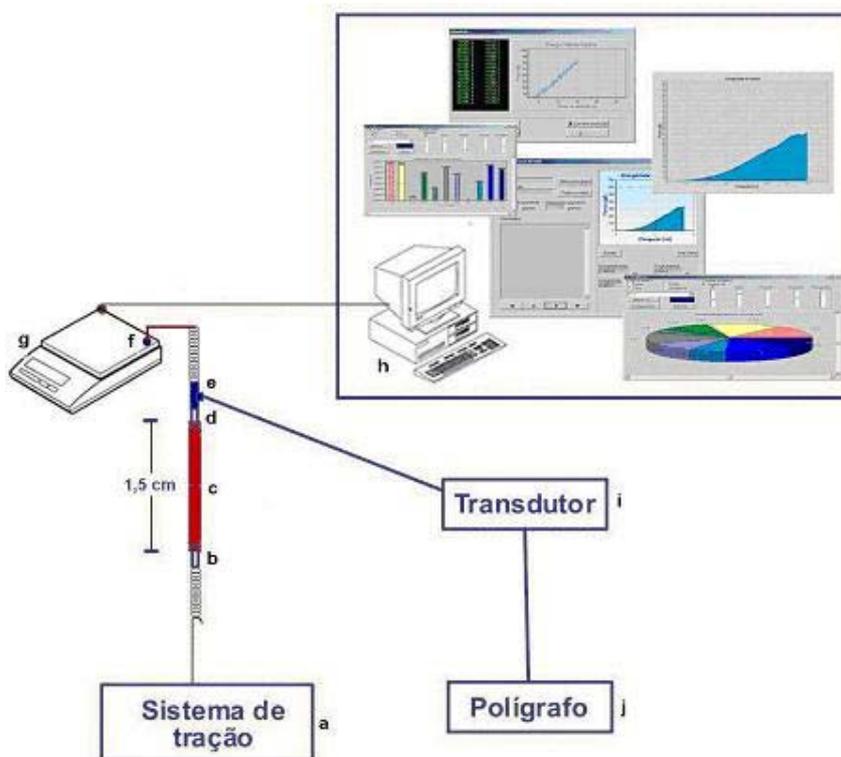


Figura 3. Disposição dos componentes do Teste Energia Total de Ruptura (WU et al., 2004).

Com o sistema montado, infunde-se lentamente uma solução fisiológica contida na seringa, preenchendo assim, o sistema constituído pelo transdutor de pressão do polígrafo, cateter, torneira de tripla via e alça intestinal, formando um conjunto de vasos comunicantes. Após, inicia-se o movimento de tração. A força gerada é transferida para a alça e, conseqüentemente, para a célula de carga da balança. Os dados adquiridos pela balança são enviados para o microcomputador, no qual está instalado o sistema computacional SABI 2.0 (VOLTOLINI et al., 2003). O final do teste é caracterizado pelo momento exato em que ocorre o rompimento da alça. Esse momento é determinado pela queda abrupta na pressão registrada pelo polígrafo em virtude da perda de líquido do sistema de vasos comunicantes. Os dados adquiridos pelo SABI 2.0 são analisados e a função Força x Elongação obtida (Figura 4).



Figura 4. Gráfico Força x Elongação – a área sob o gráfico corresponde a ETR (WU, 2003).

Depois desses procedimentos, o aplicativo calcula a área sob a função por meio de integração numérica regra do trapézio. Essa área corresponde a energia acumulada durante todo processo de deformação.

**RESULTADOS E DISCUSSÕES:** Existem diversos métodos com a finalidade de caracterizar as propriedades físico-mecânicas inerentes aos tecidos intestinais e (HENDRICKS e MASTBOOM, 1990; WU, 2000, WU, 2003) em todos os métodos, os testes utilizados são passíveis de críticas sendo assim, sempre busca-se reduzir ao máximo a quantidade de fatores que possam interferir na exatidão dos resultados. No teste Energia Interna de Deformação (NIERI, 1999), as extremidades da alça intestinal são presas ao sistema de tração por meio de prensas universais. Esses componentes, além de poderem danificar a estrutura do espécime, proporcionam uma distribuição desigual da força se não forem posicionados corretamente. Pensando em uma maneira de contornar esse problema, no teste biomecânico Energia Total de Ruptura, o espécime é fixado ao sistema de tração atando as extremidades em canhões de cateter nº18, respeitando assim, sua geometria circular. Com o sistema montado, infunde-se lentamente uma solução no interior do conjunto formado pelo transdutor de pressão do polígrafo, torneira de tripla via, cateter e alça intestinal. Por meio desse procedimento, a morfologia tubular do corpo de prova é mantida e o momento exato da sua ruptura é determinado por meio da queda abrupta da pressão ocasionada pelo extravasamento de líquido. Na maioria dos métodos de medição da resistência de alça intestinal, são aplicados ensaios uniaxiais e biaxiais com o intuito de promover a análise das propriedades do corpo de prova. No entanto, atributos importantes relacionados aos materiais viscoelásticos (FUNG, 1993), tais como deformação, tempo de ruptura e módulo de elasticidade, não são considerados. O comportamento das alças intestinais é embasada na Teoria da Viscoelasticidade, sendo caracterizada pelas propriedades e respostas inerentes à elasticidade e à viscosidade (JAMISON et al., 1968). Com isso, a resistência intrínseca do corpo de prova não pode ser obtida por meio de uma única força, mas sim, pela resultante de todas as forças aplicadas no espécime durante o ensaio mecânico até o momento da ruptura (WU et al., 2004). Em testes baseados na Energia Interna de Deformação, a energia é determinada dentro do período elástico do gráfico Tensão x Deformação. Desse modo, a caracterização do espécime é feita de maneira parcial, pois o seu comportamento após o limite de proporcionalidade não é analisado. Além disso, para a obtenção do atributo tensão, é necessário determinar a área de seção transversal do espécime no momento da ruptura. A aferição dessas dimensões é extremamente difícil pelo fato do corpo de prova apresentar morfologia tubular e propriedades viscoelásticas. Além disso, as



dimensões da parede intestinal variam a cada momento do ensaio, sendo um dos fenômenos presentes, o fenômeno de constrição. Com isso, acredita-se que o teste biomecânico ETR caracteriza a resistência intrínseca da parede do cólon de maneira mais adequada em relação ao EID pois analisa de modo integral o comportamento do espécime até o momento da ruptura. A Energia Total de Ruptura pode ser considerada o trabalho necessário para ocasionar o rompimento da alça intestinal e é representada pela seguinte equação:

$$ETR =$$

Na qual  $l$  representa a elongação máxima,  $l_0$  o comprimento inicial,  $F(x)$ , a força correspondente à elongação instantânea e  $x$ , a elongação instantânea. É importante frisar que os testes devem ser realizados em velocidade constante, já que, em materiais viscoelásticos, a energia acumulada depende da taxa de deformação, isto é, em velocidades diferentes, diferentes energias serão obtidas para um mesmo espécime (WU et al., 2004).

**CONCLUSÕES:** O teste biomecânico Energia Total de Ruptura analisa, de modo mais abrangente, os atributos pertinentes aos materiais viscoelásticos não lineares em relação ao teste Energia Interna de Deformação pois não desconsidera o período de deformação plástica sofrido pelo corpo de prova (alça intestinal) durante o ensaio mecânico.

**AGRADECIMENTOS:** Ao Parque Tecnológico de Itaipu (PTI) e ao Instituto de Tecnologia em Automação e Informática (ITAI) pela viabilização da bolsa de estágio.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

FAGUNDES, J.J. **Estudo comparativo da cicatrização de anastomoses cólicas realizadas com auxílio do bisturi laser de dióxido de carbono: trabalho experimental em cães.** Campinas, 1990. (Tese – Doutorado – Universidade Estadual de Campinas).

FUNG, Y.C. **Biomechanics – Mechanical properties of living tissues.** 2<sup>nd</sup> edition, New York: Springer-Verlag Inc, 1993.

HENDRICKS, T; MASTBOOM, W.J.B. Healing of experimental intestinal anastomosis. Parameters for repairs. **Dis Colon Rectum**, 33:891-901, 1990.

JAMISON, C.E.; MARANGONI, R.D.; GLASER, A.A. Viscoelastic properties of soft tissue by discrete model characterization. **J Biomechanics**, 1:33–46, 1968.

NIERI, T.M. **Estudo sobre o comportamento mecânico do cólon íntegro e com anastomose. Trabalho experimental em ratos.** Campinas, 1999. (Dissertação – Mestrado – Universidade Estadual de Campinas).

VOLTOLINI, R.F.; METZ, J.; MACHADO, R.B.; LEE, H.D.; WU, F.C.; FAGUNDES, J.J.; GÓES, J.R.N. SABI 2.0: Um sistema para a realização de teste biomecânicos em material viscoelástico não linear. In: **The 4<sup>th</sup> Congress of Logic Applied to Technology – Laptec 2003.** Marília, 2003.



WU, F.C. **Estudo dos efeitos de diferentes concentrações de oxigênio e da hiperoxigenação hiperbárica sobre anastomoses cólicas comprometidas ou não pela isquemia: trabalho experimental em ratos.** Campinas, 2003. (Tese – Doutorado – Universidade Estadual de Campinas).

WU, F.C.; LEE, H.D.; MACHADO, R.B.; DALMÁS, S.; COY, C.S.R.; GÓES, J.R.N.; FAGUNDES, J.J. Apresentação do teste energia total de ruptura para avaliação de material biológico com propriedade viscoelástico não-linear. **Acta Cir Bras** [serial online] 2004 Nov-Dez; 19(6).