



ESTUDO COMPARATIVO DA RESISTÊNCIA À RUPTURA DO CÓLON DESCENDENTE POR MEIO DA FORÇA DE RUPTURA À TRAÇÃO E ENERGIA TOTAL DE RUPTURA: TRABALHO EXPERIMENTAL EM RATOS¹

MAKSOEL AGUSTIN KRAUSPENHAR NIZ², FENG CHUNG WU³, HUEI DIANA LEE⁴,
RENATO BOBSIN MACHADO⁵, JOÃO JOSÉ FAGUNDES⁶, JUVENAL RICARDO
NAVARRO GÓES⁶.

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: Tendo em vista que os parâmetros existentes para a verificação da resistência da parede intestinal são parciais por apresentarem características uniaxiais e biaxiais, foi desenvolvido o teste Energia Total de Ruptura, o qual calcula a energia total acumulada necessária para promover o rompimento do segmento de intestino. Essa grandeza é denominada Energia Total de Ruptura (ETR). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é a comparação da ETR com outra medida de resistência amplamente utilizada, entretanto uniaxial, a Força de Ruptura à Tração (FRT). Para tanto, foram avaliados esses dois atributos obtidos através do Sistema de Aquisição e Análise de Dados Biomecânicos versão 2.0, utilizando-se de 12 segmentos do cólon descendente de ratos. Com os valores da FRT e ETR, foram calculados a média, o desvio padrão, o erro padrão e o coeficiente de variação. Desse modo, a ETR, mesmo avaliando maior quantidade de atributos que a FRT, apresentou menor coeficiente de variação (FRT = 25,98% e ETR = 23,29%), demonstrando ser um possível parâmetro para a análise da resistência intestinal de ratos.

PALAVRAS-CHAVE: biomecânica, cólon e cirurgia experimental.

COMPARATIVE STUDY OF DESCENDENT COLON RUPTURE RESISTENCE CONSIDERING TRACTION RUPTURE FORCE AND TOTAL ENERGY OF RUPTURE: EXPERIMENTAL WORK USING RATS

ABSTRACT: Existing parameters to verify intestinal wall resistance present uniaxial and biaxial characteristics, thus performing a partial evaluation. For this reason, it was developed the Total Energy of Rupture test, which calculates the total accumulated energy necessary to promote the intestine segment burst. This measure is called total energy of rupture. In this context, the objective of this work is to compare the total energy of rupture with the traction force of rupture, which is widely used, in spite of being an uniaxial test. These two attributes were evaluated through the Biomechanical Data Acquisition and Analysis System, version

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido no Laboratório de Bioinformática – LABI, Centro de Engenharias e Ciências Exatas, 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.

² Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica, Bolsista de Iniciação Científica do Instituto de Tecnologia em Automação e Informática (ITAI) e estagiário do LABI; E-mail: maks_niz@hotmail.com.

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

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

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

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

2.0, using 12 rat's descendent colon. Results show that, despite the total energy of rupture evaluates a larger number of attributes, it presents a smaller variation coefficient, demonstrating to be a possible parameter to perform rat's intestinal resistance analysis.

KEY WORDS: biomechanics, colon, experimental surgery.

INTRODUÇÃO: Em Cirurgias Gastrointestinais, regiões do cólon são freqüentemente utilizadas para auxiliar na reconstituição do trato digestivo (FAGUNDES, 1990). Sendo assim, o estudo de sua resistência intrínseca torna-se importante. A resistência das paredes intestinais já vem sendo amplamente estudada por pesquisadores, os quais utilizam diversos atributos e modelos experimentais para avaliar o comportamento biomecânico desses órgãos após a imposição de uma força ou pressão. No entanto, esses ensaios, apesar de muito utilizados, não consideram nos seus cálculos parâmetros fundamentais como alongação e tempo de ruptura. Com isso, as análises apresentam-se de modo parcial. Nesse contexto, foi desenvolvido no Laboratório de Bioinformática da UNIOESTE em conjunto com o Serviço de Coloproctologia da UNICAMP, o teste biomecânico Energia Total de Ruptura, o qual busca uma avaliação mais completa desses segmentos de intestino, cuja propriedade é viscoelástica não linear (WU et al., 2004). Assim, buscando verificar a eficiência do atributo Energia Total de Ruptura, propôs-se neste trabalho a comparação dessa grandeza física (ETR) com outra amplamente utilizada, a Força de Ruptura à Tração (FRT) (NIZ et al., 2004).

MATERIAIS E MÉTODOS: Os procedimentos realizados neste trabalho foram aprovados pela Comissão de Ética na Experimentação Animal CEEA-IB-UNICAMP, segundo os princípios éticos adotados pelo Colégio Brasileiro de Experimentação Animal – COBEA (Protocolo nº 589-1). Foram utilizados 12 ratos machos, linhagem Wistar, provenientes do Centro de Bioterismo – CEMIB / UNICAMP, peso variando entre 300 e 350 gramas e criados sob condições similares. Os corpos de prova foram representados por quatro centímetros do cólon descendente de cada rato. Esses espécimes eram submergidos em um copo tipo Becker contendo solução fisiológica 0.9% e cloridrato de papaverina a uma concentração de 250 miligramas por litro a 37 graus centígrados. Esse processo foi utilizado para minimizar os espasmos decorrentes da manipulação. Após 30 minutos, os segmentos de intestinos eram retirados e submetidos ao teste biomecânico Energia Total de Ruptura. Esse teste é composto pelos seguintes componentes (Figura 1), os quais mantiveram as mesmas proporções nos ensaios (WU et al., 2004):

- Corpo de teste (segmento do cólon descendente), (Figura 1-a);
- Balança de precisão da marca Mettler-Toledo SB8000 (Figura 1-b);
- Célula de carga da balança de precisão Mettler-Toledo SB8000 (Figura 1-c);
- Saída serial da balança de precisão (Figura 1-d);
- Sistema de Tração B.BRAUN 871.012 (Figura 1-e);
- Cabo de comunicação serial (Figura 1-f)
- Computador PC padrão com interface serial RS232, contendo o aplicativo SABI 2.0 (Figura 1-g);
- Polígrafo marca Siemens-Elema – Modelo 804 Mingograft (Figura 1-h);
- Canhão de cateter nº 18 com luz vedada (Figura 1-i);
- Canhão de cateter nº 18 com luz aberta (Figura 1-j);
- Torneira de tripla via (Figura 1-k);
- Seringa de plástico (10 ml), posicionada no transdutor do polígrafo (Figura 1-l).

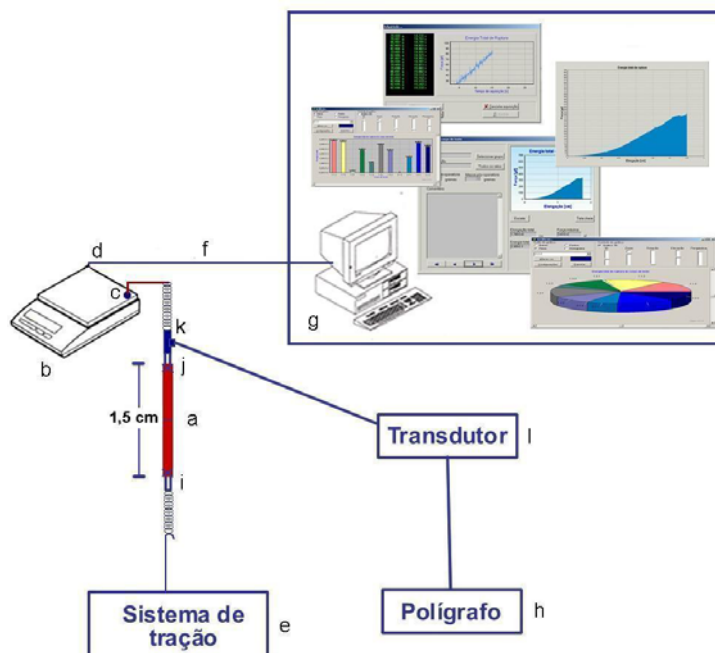


Figura 1: Disposição dos componentes do Teste Biomecânico Energia Total de Ruptura (WU et al., 2004).

O teste ETR foi realizado segundo o protocolo descrito por WU et al., (2004). A força gerada pelo sistema de tração era transferida para o espécime e, conseqüentemente, detectada pela célula de carga da balança de precisão. A balança, por sua vez, enviava o valor da força correspondente ao computador contendo o aplicativo SABI 2.0, a cada instante, por meio de pacotes de dados (VOLTOLINI et al., 2003). O SABI 2.0 foi desenvolvido em parceria entre o Laboratório de Bioinformática – LABI, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE – campus de Foz do Iguaçu e o Serviço de Coloproctologia da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Esse aplicativo foi desenvolvido em dois subsistemas. O primeiro, responsável pela aquisição dos dados gerados pela balança através da comunicação serial via RS232 enquanto o segundo, trata da interpretação e análise dos dados recebidos. Com esses dados, no momento de ruptura da alça intestinal, o SABI 2.0 determina o valor da Força de Ruptura a Tração (FRT) e delimita o intervalo do gráfico Força x Tempo. No ensaio, a velocidade de tração foi constante (um centímetro por minuto), e decorrente desse fato, a alongação apresentou-se diretamente proporcional ao tempo. Desse modo, com a finalização da captura dos dados, o sistema converte automaticamente o tempo em alongação, gerando o gráfico da função Força x Alongação, cuja área, calculada por meio da integralização numérica regra dos trapézios (SWOKOWSKI, 1999), corresponde a Energia Total de Ruptura (Figura 2) (WU, 2003).



Figura 2: Gráfico Força x Elongação – o valor da força no momento da ruptura corresponde à FRT e a área sob a curva corresponde a ETR (WU, 2003).
 O término do experimento se dá com a ruptura da alça, momento esse identificado pela queda brusca do registro do polígrafo, voltando à linha de base zero, em virtude da perda do líquido (Figura 3) (WU, 2003). Desse modo, foram realizados os ensaios em todos os espécimes, sendo obtidos os respectivos valores da força de ruptura à tração e da Energia Total de Ruptura. Com os valores alcançados na sua totalidade, foram calculados a média, o desvio padrão, o erro padrão e o coeficiente de variação, os quais foram utilizados para comparação.

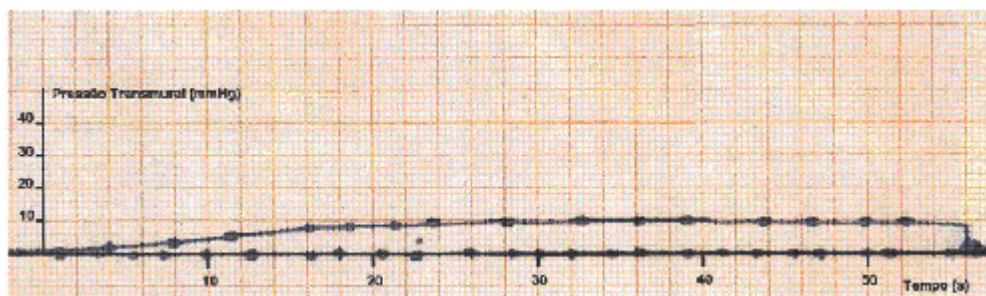


Figura 3: O registro do gráfico da pressão transmural apresentado pelo polígrafo, do início até o final do experimento (WU et al., 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A importância em se avaliar o comportamento mecânico de alças intestinais, está relacionada aos problemas gerados pelo extravasamento do material fecal contido em seu interior para a cavidade abdominal (FAGUNDES, 1990; NIERI, 1999). Pesquisadores já vêm aplicando diversos parâmetros e modelos experimentais, fundamentados em conceitos biomecânicos com a finalidade de analisar esse comportamento físico da parede intestinal quando esta é submetida a algum tipo de força. Os exemplos de ensaios biomecânicos mais utilizados são:

- Força de Ruptura à Tração;
- Pressão de Ruptura à Distensão por Líquido ou por Ar;
- Tensão de Ruptura;
- Tensão Resultante Final de Ruptura à Tração;
- Energia Total de Ruptura.

Todos os métodos são passíveis de críticas. No entanto, a Força de Ruptura à Tração (WU, 2000), assim como a Pressão de Ruptura (HENDRICKS e MASTBOOM, 1990; WU, 2003), a Tensão de Ruptura (HENDRICKS e MASTBOOM, 1990) e a Tensão Resultante Final de Ruptura à Tração (WU, 2000) analisam parcialmente as propriedades da parede intestinal, pelo fato da complexidade dessas estruturas (FUNG, 1993), consideradas viscoelásticas não lineares. Devido ao fato desses testes apresentarem características uniaxiais e biaxiais,

atributos essenciais como deformação, tempo de ruptura e módulo de elasticidade não são considerados na obtenção dos resultados. Materiais biológicos, como as alças intestinais, são viscoelásticos, os quais apresentam propriedades e respostas peculiares à elasticidade e à viscosidade (JAMISON et al., 1968). Portanto, acredita-se que o atributo Energia Total de Ruptura, que corresponde a energia interna acumulada necessária para promover o rompimento da alça intestinal, seja capaz de analisar matematicamente e de modo mais completo a resistência de segmentos intestinais. Portanto, para que essa grandeza possa ser obtida, foi desenvolvido o teste biomecânico Energia Total de Ruptura, teste esse fundamentado no Princípio Universal da Conservação de Energia e que respeita os conceitos e propriedades inerentes a estrutura intestinal (WU, 2003). No gráfico utilizado para o cálculo da Energia Total de Ruptura, o eixo das coordenadas foi composto pelo atributo força. Desse modo, a Força de Ruptura à Tração (FRT) era obtida pelo valor máximo da força no gráfico, ou seja, a força correspondente ao momento de ruptura. Já o eixo das abscissas foi composto pelo parâmetro alongação (l) do segmento de alça, pois todos os corpos de teste possuíam comprimentos iniciais (l_0) correspondentes a um centímetro e meio, medida essa confirmada por paquímetro. Com isso, era constituído o gráfico da função Força x Alongação, onde a força aplicada no segmento varia com a alongação conforme a seguinte equação:

$$ETR =$$

Os parâmetros l , l_0 , $F(x)$ e x representam a alongação máxima, o comprimento inicial, a força correspondente a alongação x e a alongação que varia de l_0 a l , respectivamente. A velocidade de tração constante (um centímetro por minuto) foi importante para o ensaio, pois, através dela, os atributos tempo e alongação mantiveram-se proporcionais. As alças intestinais apresentam comportamento viscoelástico não linear. Se a velocidade de tração, para um mesmo espécime fosse diferente, as energias resultantes obtidas também seriam diferentes. Com isso, Energia Total de Ruptura (ETR) foi comparada com a Força de Ruptura à Tração (FRT). Como esses dois atributos são representados em unidades de grandeza diferentes, grama-força por centímetro (gf.cm) e grama-força (gf), respectivamente, o simples confronto dos seus respectivos desvios-padrão e/ou erros-padrão não poderiam ser realizados. Portanto, para contornar esse fato e comparar essas duas grandezas físicas, utilizou-se o coeficiente de variação, o qual independe da unidade de medida, pois, expressa numericamente o desvio padrão como porcentagem do valor da média. Desse modo, quanto menor o coeficiente de variação, mais homogênea será a amostra. Assim, os segmentos de cólon descendente íntegros de ratos foram submetidos ao teste Energia Total de Ruptura. Os resultados obtidos, correspondentes à média, ao desvio padrão, ao erro padrão e ao coeficiente de variação, para a FRT e ETR dos mesmos espécimes, estão representados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Valores da média, do desvio-padrão, do erro-padrão e do coeficiente de variação dos dados da FRT.

	Média	Desvio Padrão	Erro padrão	Coeficiente de variação
FRT	380,05 gf	98,74	28,50	25,98 %

Tabela 2 - Valores da média, do desvio-padrão, do erro-padrão e do coeficiente de variação dos dados da ETR.

	Média	Desvio Padrão	Erro padrão	Coeficiente de variação
ETR	244,85 gf.cm	57,76	16,67	23,59 %



O Sistema de Aquisição e análise de dados Biomecânicos – SABI 2.0, ferramenta utilizada para a obtenção da FRT e da ETR, mostrou-se adequada para a automatização e reprodução matemática do comportamento físico-mecânico dos segmentos testados. A implementação desse aplicativo foi fundamentada nos conceitos da Engenharia de Software e utilizou-se do paradigma orientado a objeto (VOLTOLINI et al., 2003). A captura dos dados foi orientada a eventos, ou seja, os pacotes de dados enviados pela balança eram recepcionados pelo SABI 2.0 conforme esses dados eram adquiridos. Devido às características da célula de carga contida na balança de precisão, eram enviados em média, três pacotes de dados por segundo, sendo que essa velocidade de transmissão e aquisição mostrou-se satisfatória, segundo avaliação dos especialistas da área médica.

CONCLUSÃO: A Energia Total de Ruptura (ETR), mesmo considerando maior número de atributos pertinentes aos materiais com propriedade viscoelástica não linear em seus cálculos, apresentou menor coeficiente de variação (23,29%) em comparação com o coeficiente de variação da Força de Ruptura à Tração (FRT) (25,98%) dos mesmos espécimes. Desse modo, a Energia Total de Ruptura demonstrou ser um possível parâmetro para a análise da resistência intestinal de ratos.

AGRADECIMENTOS: Agradecemos ao Instituto de Tecnologia em Automação e Informática – ITAI e ao Parque Tecnológico Itaipu – PTI 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.** 2nd 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.

NIZ, M.A.K.; WU, F.C.; LEE, H.D.; MACHADO, R.B.; FAGUNDES, J.J.; GÓES, J.R.N. Análise da Força de Ruptura à Tração e Energia Total de Ruptura do Cólon Descendente: Trabalho Experimental em Ratos. **Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP – SIICUSP 2004.** São Paulo, 2004.

SWOKOWSKI, E.W. **Cálculo com Geometria Analítica**, 3^a edição, São Paulo: Makron Books, 1999. vol 1.

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. **The 4th Congress of Logic Applied to Technology – Laptec 2003.** Marília, 2003.

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).

WU, F.C. **Estudo da ação de aderências sobre anastomose cólica: trabalho experimental em ratos.** Campinas, 2000. (Dissertação – Mestrado – Universidade Estadual de Campinas).

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).