

INFLUÊNCIA DE LIGAÇÕES CRUZADAS NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS
DE BIOPOLÍMEROS UTILIZADOS EM PRÓTESES CARDÍACAS

POR

G. de Carvalho¹

RESUMO Foi estudada a influência do tratamento com glutaraldeído nas propriedades mecânicas do pericárdio bovino. Para isso foi estabelecida uma metodologia baseada em norma do ensaio de tração para plásticos segundo a ASTM. Nesta metodologia se estudou o pericárdio bovino e a dura-mater humana conservada em glicerina. Os resultados mostram que a tensão de ruptura do pericárdio bovino tratado com glutaraldeído é superior à dos demais tecidos.

INTRODUÇÃO

O objetivo do nosso trabalho é desenvolver uma metodologia confiável, para se conhecer certos parâmetros fundamentais de tecidos biológicos, caracterizando as propriedades físico-mecânicas de tais tecidos.

Pretende-se obter um quadro comparativo para as propriedades físico-mecânicas dos tecidos biológicos mais usados em nosso meio, correlacionando-as. Ao mesmo tempo buscou-se alguma forma de modificá-las a fim de poder alcançar maior longividade para as próteses cardíacas, utilizando tecidos biológicos, uma vez que já atingiram índices de bio-compatibilidade plenamente satisfatórios.

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Objetivou-se neste trabalho conhecer as propriedades mecânicas do pericárdio bovino tratado com glutaraldeído. Para que se pudesse fazer uma análise mais profunda, julgou-se conveniente que se confrontasse resultados obtidos, segundo a mesma metodologia, para outros biopolímeros, também utilizados em confecção de próteses cardíacas-válvulas, tais como a Dura-Mater.

Adotou-se o ensaio de tração para avaliar as propriedades mecânicas.

Dentro das normas internacionais existentes, não foi encontrada nenhuma norma específica para biopolímeros.

Como se sabe, devido a sua constituição, é invariável ter-se um biopolímero totalmente isotrópico.

Feito levantamento das mesmas normas que regem um ensaio de tração, julgou-se mais conveniente adotar-se a norma ASTM-D-638 (American Society for Testing and Materials).

O motivo desta escolha está basicamente fundamentada em: as aparências do tecido biológico são similares às do material específico-plástico. Além de: - a espessura é normalizada em menor ou igual a 4mm/m, o que é amplamente favo

¹Professor de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos-São Carlos - SP - Brasil

rável, pois seria impraticável para tecidos biológicos, termos uma espessura com o único valor para os corpos de prova.

O equipamento utilizado foi uma máquina INSTRON 1127 permitindo a realização do ensaio com bastante confiabilidade. Isso é importante, uma vez que, em se tratando de tecido biológico, existem parâmetros de difícil acesso (idade-se xo-formação, genética-alimentação recebida, etc).

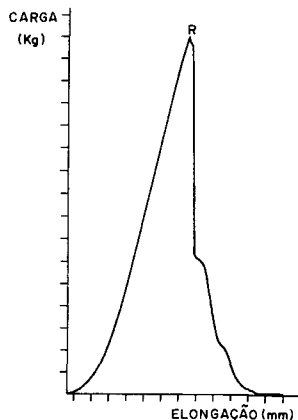
Foram analisados os seguintes materiais:

- Pericárdio Bovino: conservado em glicerina, tratado com glutaraldeído com posterior conservação em glicerina.
- Dura-Mater Humana: conservada em glicerina.

Durante o transcorrer do ensaio, os tecidos foram mantidos a temperatura ambiente e com a umidade relativa do ar controlada. Os corpos de prova eram retirados da glicerina e hidratados em soro fisiológico, situação que foi mantida durante todo o tempo de ensaio. Os corpos de prova eram recortados em dois planos da fibra: longitudinal e oblíquo. Neste último, os cortes eram mais ou menos aleatórios variando-se entre ângulos de 20° e 80°. Foram realizados mais de 10 ensaios para cada material, desta forma minimizando-se a dispersão de valores que poderia ser introduzida pela existência de eventuais rasgos ou fissuras nos corpos de prova.

A medida em que é aplicada a carga, o equipamento correlaciona com a elongação provocada no material, fornecendo um diagrama CARGA-ELONGAÇÃO (Fig. 1). A partir deste diagrama calcula-se os valores da:

- Tensão de ruptura (τ)
- Módulo de elasticidade (E)
- Deformação (ϵ), Van Vlack (1), Houvink (2).



"Figura 1. Diagrama Carga x Elongação destacando ponto de ruptura=R"

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho podem ser vistos na Tabela abaixo.

"TABELA 1. Resultados Experimentais para:
Dura-Mater (M1)
Pericárdio Bovino (M2)
Pericárdio Bovino em glutaraldeído. (M3)

	TENSÃO DE RUPTURA (kgf/mm ²)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (kgf/mm ²)	DEFORMAÇÃO (%)
M1 \bar{X} (valor médio)	1,17	10,26	22,74
S (desvio padrão)	0,75	5,84	5,24
M2 \bar{X} (valor médio)	1,15	6,76	40,26
S (desvio padrão)	0,53	2,42	7,32
M3 \bar{X} (valor médio)	1,54	14,30	21,09
S (desvio padrão)	0,71	6,52	2,09

Foram feitas paralelamente, em duplo-cego, análise histológica, Braile (3), e estabilidade térmica, Carvalho (4), a fim de que, entre outras razões, fosse analisada a confiabilidade do ensaio realizado.

Os corpos de prova foram retirados das diferentes membranas, segundo dois modelos (Figura 2):

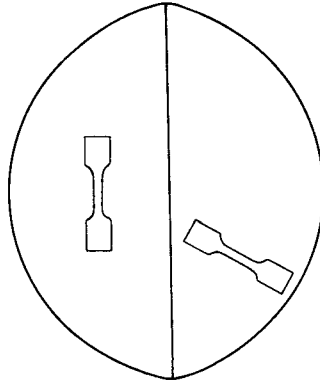
- Modelo 1 - paralelo do seio sagital da meninge (17 corpos de prova)
- Modelo 2 - direções oblíquas, aleatoriamente (18 corpos de prova)

Tal procedimento, foi visando estudar também, se a vascularização interfere diretamente na resistência mecânica do tecido.

Os valores encontrados foram:

"TABELA 2. Resultados Experimentais em função da localização nos corpos de prova na Meninge."

	τ (kgf/mm ²)	E (kgf/mm ²)	ϵ (%)
Modelo 1 \bar{X}	1,17	10,26	22,74
S	0,75	5,84	5,24
Modelo 2 \bar{X}	0,81	8,09	28,04
S	0,35	4,23	8,90



RETIRADA DE CORPO DE PROVA

"Figura 2. Direções da retirada corpo de prova em relação ao seio sagital" (linha central)

Onde: τ = tensão de ruptura (kgf/mm^2)
 E = módulo de elasticidade (kgf/mm^2)
 ϵ = deformação (%)
 \bar{X} = valor médio e S desvio padrão

Pode-se dizer então que não é viável definir uma posição preferencial para a retirada do material.

Isto porque, o desvio padrão encontrado sendo elevado, elimina a possível diferença que poderia ser significativa para a tensão de ruptura, em função da localização.

Como citado anteriormente, o ensaio de tração foi realizado em "duplo-cego" com o exame histológico Braille (3).

Isto fez com que fosse realizada a análise de todos os corpos de prova in discriminadamente.

Uma vez conhecido o resultado histológico, gerou-se dois grupos:

- Grupo A = amostras que tinham sido aprovadas
- Grupo R = amostras rejeitadas.

Com esta consideração tem-se o seguinte resultado:

"TABELA 3. Resultados Experimentais Selecionados
Conforme Exame Histológico"

		τ (kgf/mm ²)	E (kgf/mm ²)	ϵ (%)
Grupo A	\bar{X}	1,86	17,40	23,80
	S	0,82	8,62	3,20
Grupo R	\bar{X}	1,32	12,22	20,05
	S	0,61	4,37	2,86

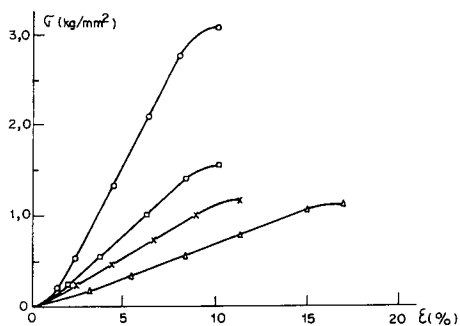
O que vem mostrar que os tecidos que realmente estariam em condições de serem utilizados para a confecção de uma prótese, tem o valor de τ mais elevado.

É bastante controvertido o mecanismo da reação do glutaraldeído com proteínas, Woodroof (5).

A tensão de ruptura mudou de $\tau = 1,15$ kgf/mm² (pericárdio em glicerina) para $\tau = 1,86$ kgf/mm² (pericárdio tratado com glutaraldeído).

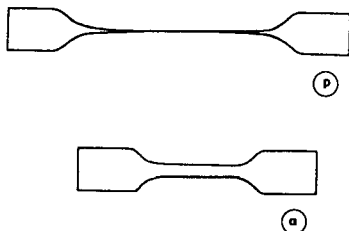
Uma vez conhecido amplamente o mecanismo de "Vulcanização" do pericárdio será possível obter-se ainda resultados mais satisfatórios.

Ao se construir o diagrama Tensão x Deformação (Fig. 3) considerou-se o diagrama Carga x Elongação até o ponto R (Fig. 1).



"Figura 3. Diagramas Tensão x Deformação para diferentes materiais"

Durante o ensaio notou-se que a largura da secção dos corpos de prova, que tinham inicialmente 6 mm, era reduzida, de maneira brusca, para 1 mm aproximadamente (Fig. 4).



"Figura 4. Ilustração da redução na área do corpo de prova"

Este comportamento, seria estricção, característica de materiais dúcteis.

Mas observando-se o diagrama, não constata-se a presença de patamar, que corresponderia a região em que, a deformação aumenta para uma tensão constante.

A justificativa de tal comportamento é que:

- a redução de área é provocada pela ruptura de diversas fibras continuando a resistir somente aquelas orientadas na direção do tracionamento.

Assim sendo, tem-se não um escoamento, mas uma diminuição na resistência, em função do menor número de fibras. Portanto, a fratura é do tipo frágil.

Pode-se notar nitidamente a região elástica-região em que a deformação varia linearmente com a tensão. Consequentemente, foi possível determinar o valor do módulo de elasticidade, ou módulo de Young, que é o coeficiente angular da reta. Definido com $E = \tau/\epsilon$.

Tal fato é muito relevante.

A prótese feita com material de características elásticas e assumindo que após o implante, estas características não se modificariam, teríamos uma vida útil de prótese mais longa. Sendo necessário para tal que ao produzirmos a prótese, tenhamos o cuidado de projetar a sua estrutura de tal forma que, as ten

sões aplicadas nas lacíneas, estejam dentro do limite elástico das mesmas.

Pode-se notar que o tratamento com glutaraldeído modifica a rigidez do pericárdio. Pois o módulo de elasticidade que era anteriormente $E = 6,76 \text{ kgf/mm}^2$ (pericárdio em glicerina) passou a $E = 14,30 \text{ kgf/mm}^2$ (pericárdio tratado).

A medida que se aumenta o valor do módulo de elasticidade tem-se menores deformações elásticas.

Assim pode-se afirmar que a rigidez do pericárdio tratado com glutaraldeído é maior que a rigidez da dura-mater, que por sua vez, é maior que a rigidez do pericárdio em glicerina.

Vários trabalhos envolvendo diferentes pesquisadores, tem sido realizados a fim de se avaliar a Fadiga, em tecidos biológicos utilizados na confecção de válvulas cardíacas, Carpentier (6), Hancock (7).

Assumindo a teoria válida para a maioria dos plásticos, Kreevelen (8) e Baer (9), que a tensão de fadiga é equivalente a 1/3 do valor da tensão de ruptura, tem-se a tensão de fadiga destes biopolímeros-pericárdio bovino e dura-mater humana.

Embora os ensaios tenham sido feitos em equipamento, que possibilita alta precisão, teve-se um desvio padrão elevado, para os resultados de tensão de ruptura, módulo de elasticidade e deformação.

Tal fato está associado à própria natureza do material ensaiado.

Como se sabe, é impraticável, querer-se padronizar as características de um tecido biológico, em função do grande número de parâmetros que estão a ele associados.

Outros resultados, a primeira vista surpreendente, é que a espessura não tem influência nas propriedades analisadas.

Mas a rigor, o que ocorre, é que não se consegue definir uma correlação entre a espessura e a resistência mecânica, isto porque inúmeros outros parâmetros influem na morfologia do tecido biológico. Então a influência da espessura é menos marcante, ou mesmo, estaria "mascarada", pela variação ocorrida na morfologia, em função, por exemplo, das características biológicas do ser que forneceu o tecido.

Para que fique melhor caracterizado o exposto acima, eis alguns exemplos:

- Para um corpo de prova de dura-mater, de espessura igual a 0,25 mm, encontrou-se valor da tensão de ruptura igual a $\tau = 2,17 \text{ kgf/cm}^2$, ao passo que, um de 0,45 mm teve $\tau = 0,68 \text{ kgf/mm}^2$.

E de um modo mais geral, ao se calcular o índice de correlação espessura x tensão de ruptura, considerando todos os corpos de prova, obteve-se:

- Parabólica 0,15

- Linear 0,10

- Corpo de prova de pericárdio com espessura de 0,33 mm teve $\tau = 2,27 \text{ kgf/mm}^2$ e um outro com espessura de 0,50 mm teve $\tau = 1,35 \text{ kgf/mm}^2$.

Embora a norma adotada não seja específica para tecidos biológicos, vê-se

vantagens em se adotar uma determinada norma, ainda mais considerando que a mesma abrange satisfatoriamente as características do material ensaiado.

É importante lembrar que o tempo necessário para ensaiar um corpo de prova era mínimo permitindo assim que o mesmo ficasse totalmente hidratado.

Os resultados encontrados neste trabalho foram plenamente satisfatórios, quando comparados com as demais análises realizadas, Braile (3), Carvalho (4).

CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, e como são conhecidas as características físico-mecânicas do pericárdio bovino, somente conservado em glicerina, pode-se comparar a eficiência do uso de glutaraldeído, uma vez que se obteve melhores características mecânicas para o pericárdio, após o processo de ligação cruzada.

Como os resultados são coerentes com a pré-seleção feito pelo exame histológico, tem-se, portanto uma boa metodologia - Ensaio de tração para o controle de qualidade dos pericárdios a serem utilizados na confecção das próteses.

Segundo os resultados obtidos, tem-se que a dura-mater humana e pericárdio bovino, conservados em glicerina, possuem características mecânicas inferiores ao pericárdio bovino tratado com glutaraldeído.

Com relação a resistência mecânica do bio-polímero-pericárdio bovino, e assumindo a técnica adotada para os plásticos, Krevelen (8), Baer (9), podemos prever a vida útil das lacineas, e conseqüentemente da prótese construída com o referido biopolímero.

BIBLIOGRAFIA

- (1) VAN VLACK, K.K. "Princípios de Ciência dos Materiais". Trad. Engº Luiz Paulo Camargo Ferrão, São Paulo, Edgard Blücher, 1972. 427 p.
- (2) HOUWINK, R. "Elasticity, Plasticity and Structure of Matter". New York, Dover Publications, 1972.
- (3) BRAILE, D.M. et alii. "Histological Studies on Glutaraldehyde Preserved bovine pericardium employed in heart valvar prosthesis". In - International Symposium on Artificial Organs, 3, São Paulo, 1979.
- (4) CARVALHO, G. de et alii. "Manufacturing of heart valver prosthesis with purified glutaraldehyde-preserved bovine pericardium". In: International Symposium on Artificial Organs, 3, São Paulo, 1979.
- (5) WOODROOF, E.A. "Use of Glutaraldehyde and Formaldehyde to process tissue heart valves". Shiley Scientific, Inc., 1978.
- (6) CARPENTIER, A. et alii. "Biological factors affecting long-term results of valvular heterografts". J. Thoroc. Cardiovasc. Surg. (58) : 467, 1969.
- (7) HANCOOK, W.D. "Technical Bolletin". California, Hancock Laboratories, Inc., 1975.

- (8) KREVELEN, D.W. & HOFZYER, P.J. "Properties of Polymers: Correlations With Chemical Structure". London, Elsevier Publishing Company, 1972.
- (9) BAER, E. "Engineering design for plastics". New York, Robert E. Krieger Publishing Company, 1975 (Polymer Science and Engineering Series).

INFLUENCE OF CROSS-LINKING ON THE MECHANICAL PROPERTIES
OF CARDIAC PROTHESYS BIOPOLYMERS

BY

G. de Carvalho¹

SUMMARY The influence on the mechanical properties of bovine pericardial treated with glutaraldehyde was investigated. A method was used, based on the ASTM tensile test procedure. Using the same technique, bovine pericardial and dura-mater homografts preserved in glicerine were studied. Results show that the ultimate tensile strength of bovine pericardial treated with glutaraldehyde is higher than for the other tissues.

¹Professor de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos-São Carlos - SP - Brasil