

# Resistência tensional do pericárdio bovino fixado em glutaraldeído comparada com a da veia safena magna

## *Comparative analysis of rupture resistance between glutaraldehyde-treated bovine pericardium and great saphenous vein*

Marcio Miyamoto<sup>1</sup>, Carlos Eduardo Del Valle<sup>2</sup>, Ricardo Cesar Rocha Moreira<sup>3</sup>,  
Jorge R. Ribas Timi<sup>4</sup>

### Resumo

**Contexto:** O uso do pericárdio bovino como remendo na endarterectomia de carótida é uma alternativa à veia safena magna. As vantagens do pericárdio incluem facilidade de obtenção, menor tempo operatório e principalmente menor índice de ruptura.

**Objetivo:** Avaliar a resistência tensional do pericárdio bovino tratado com glutaraldeído e compará-la com a da veia safena magna.

**Métodos:** Os remendos de pericárdio bovino (grupo I, n = 20) e de veia safena magna (grupo II, n = 20) foram recortados em dimensões iguais (50 x 5 mm) e preparados de modo habitual a sua utilização. Os grupos foram submetidos a ensaio de tração e comparados em relação a força de ruptura, força máxima e tensão de ruptura utilizando-se o teste *t* de Student. A correlação da espessura do remendo com a força de ruptura também foi analisada utilizando-se o coeficiente de correlação linear de Pearson.

**Resultados:** Os parâmetros força de ruptura e força máxima foram significativamente maiores no grupo dos remendos de pericárdio bovino: 1,97 *versus* 1,36 kgf (p = 0,001230) e 2,27 *versus* 1,51 kgf (p = 0,0001087), respectivamente. A tensão de ruptura média para o material pericárdio bovino também foi maior (193,99±43,05 *versus* 49,19±22,96 kgf/cm<sup>2</sup>, p = 7,603e<sup>-16</sup>) do que na veia safena. A correlação entre a espessura e a força de ruptura foi considerada moderada (r = 0,5032993) para o pericárdio bovino e baixa (r = 0,3062166) para o grupo da veia safena.

**Conclusão:** Os autores concluem que a resistência do pericárdio bovino à ruptura foi considerada adequada neste estudo, e é significativamente maior que a da veia safena magna, retirada da região da coxa. Além disso, a espessura do remendo em ambos os grupos não apresenta boa correlação com sua resistência a ruptura.

**Palavras-chave:** Pericárdio, veia safena, endarterectomia de carótida.

### Abstract

**Background:** Carotid endarterectomy using bovine pericardium is an acceptable alternative to great saphenous vein patch. Bovine pericardium is easily obtained and provides a shorter operative time and lower rupture rate.

**Objective:** To evaluate rupture resistance of glutaraldehyde-treated bovine pericardium patch in comparison with great saphenous vein patch.

**Methods:** The sample was divided into two groups: bovine pericardium patch (group I, n = 20) and great saphenous vein patch (group II, n = 20). Both bovine pericardium and saphenous vein patches were prepared in the same dimensions (50 mm x 5 mm) and tested using standard procedures. The patches were tested in the longitudinal axis until the point of material failure. The following parameters were addressed: failure force, ultimate force and failure stress. Statistical analysis was conducted using the Student *t* test and Pearson's linear correlation.

**Results:** Failure force and ultimate force parameters were significantly higher in the bovine pericardium patch group: 1.97 vs. 1.36 kgf (p = 0.001230) and 2.27 vs. 1.51 kgf (p = 0.0001087), respectively. Mean failure stress in the bovine pericardium patch group was also significantly higher than that in the great saphenous vein group (193.99±43.05 vs. 49.19±22.96 kgf/cm<sup>2</sup>, p = 7.603e<sup>-16</sup>). The correlation between thickness and failure force was considered moderate (r = 0.5032993) for the bovine pericardium group and low (r = 0.3062166) for the great saphenous vein group.

**Conclusion:** The failure stress related to the bovine pericardium group was considered appropriate in this study, and was significantly higher than that observed in the great saphenous vein group. In addition, patch thickness in both groups did not show a good correlation with rupture resistance.

**Keywords:** Pericardium, saphenous vein, carotid endarterectomy.

1. Cirurgião vascular e endovascular, Serviço de Cirurgia Vascular Prof. Dr. Elias Abrão, Hospital Nossa Senhora das Graças (HNSG) e Hospital Universitário Cajuuru (HUC), Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Curitiba, PR. Mestrado, Clínica Cirúrgica, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR. Área de atuação em Angiorradiologia e Cirurgia Endovascular, SBACV e Colégio Brasileiro de Radiologia (CBR). Diretor de publicações, SBACV - Regional Paraná.
2. Cirurgião vascular, Serviço de Cirurgia Vascular Prof. Dr. Elias Abrão, HNSG e HUC, PUCPR, Curitiba, PR. Mestrado, Clínica Cirúrgica, UFPR, Curitiba, PR.
3. Doutor, Clínica Cirúrgica, UFPR, Curitiba, PR. Chefe, Serviço de Cirurgia Vascular Prof. Dr. Elias Abrão, Curitiba, PR. Área de atuação em Angiorradiologia e Cirurgia Endovascular, SBACV e CBR. Membro titular, SBACV.
4. Cirurgião vascular e endovascular, Núcleo Integrado de Cirurgia Endovascular do Paraná (NICEP), Curitiba, PR. Chefe, Departamento de Cirurgia Vascular, Hospital das Clínicas, UFPR, Curitiba, PR. Doutor, Clínica Cirúrgica, UFPR, Curitiba, PR. Área de atuação em Angiorradiologia e Cirurgia Endovascular, SBACV e CBR. Membro titular, SBACV.

Trabalho realizado no Programa de Pós-Graduação em Clínica Cirúrgica, Departamento de Cirurgia, Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná (UFPR), como dissertação de mestrado.

Não foram declarados conflitos de interesse associados à publicação deste artigo.  
Artigo submetido em 06.02.08, aceito em 06.03.09.

J Vasc Bras. 2009;8(2):103-111.

Copyright © 2009 by Sociedade Brasileira de Angiologia e de Cirurgia Vascular

## Introdução

A endarterectomia da artéria carótida com a utilização de remendo diminui a ocorrência de complicações perioperatórias, como trombose e eventos neurológicos isquêmicos, bem como complicações tardias como reestenose<sup>1,2</sup>. Os materiais mais utilizados como remendos são a veia safena magna, o politetrafluoretileno, o tereftalato de poliéster (Dacron<sup>®</sup>) e o pericárdio bovino. A veia safena magna apresenta baixa trombogênicidade e baixas taxas de reestenose, porém prolonga o tempo operatório, além de necessitar de uma incisão adicional<sup>1-4</sup>. Ocasionalmente, a veia safena pode não ser viável (flebite prévia, trombose venosa profunda, degeneração varicosa) ou não estar disponível (safenectomia prévia). Nessas situações, os remendos sintéticos são uma alternativa viável. Os remendos de Dacron<sup>®</sup> e politetrafluoretileno, apesar de diminuir o tempo operatório, apresentam menor resistência à infecção, custo mais elevado, maior tempo de sangramento relacionado à linha de sutura (politetrafluoretileno) e maior taxa de reestenose (Dacron<sup>®</sup>)<sup>5-8</sup>.

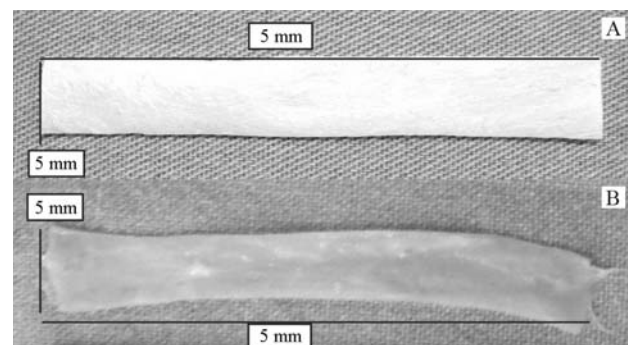
O pericárdio bovino é um enxerto biológico de uso crescente como remendo nas operações de carótida. Apresenta baixa reação imunológica, boa incorporação aos tecidos adjacentes e superfície interna não-trombogênica, além de custo baixo quando comparado aos remendos sintéticos. O pericárdio bovino também é de fácil manuseio, apresentando boa adaptação à linha de sutura, resultando numa anastomose hemostática, adaptável às mais diversas formas, inclusive tridimensionais. Na última década, vários estudos foram realizados e publicados, analisando a utilização desse material como remendo na endarterectomia da artéria carótida, com resultados comparáveis aos outros tipos de remendo<sup>9-14</sup>. As complicações relacionadas aos vários tipos de remendos são basicamente as mesmas: sangramento, infecção, trombose, embolização, reestenose e formação de pseudoaneurismas. A ruptura do remendo é uma complicação grave associada a altas taxas de morbidade e mortalidade, ocorrendo quase que exclusivamente nos remendos venosos. Os casos de ruptura relatados ocorreram principalmente nos remendos de veia safena, quando essa foi extraída em seus segmentos distais<sup>2,15-17</sup>. Baseado em tais relatos, alguns autores recomendam que o remendo venoso seja retirado da veia safena magna ao nível da coxa, onde seria mais resistente à tensão, portanto com baixa probabilidade de rompimento<sup>18</sup>. Com a utilização crescente do pericárdio bovino na endarterectomia da

artéria carótida, ressaltou-se a necessidade da avaliação das características mecânicas desse material biológico, principalmente pelo risco de ruptura do remendo e formação de pseudoaneurismas. A avaliação da resistência tensional do pericárdio bovino à ruptura, comparada com a resistência tensional de outros materiais usados como remendo, pode oferecer dados preditivos importantes na prevenção de tais complicações. Os objetivos deste estudo foram, portanto, analisar a resistência tensional do pericárdio bovino e compará-la à da veia safena magna retirada da região da coxa proximal.

## Métodos

Este estudo foi conduzido de modo prospectivo e comparativo entre dois materiais utilizados como remendo na endarterectomia de carótida: o pericárdio bovino e a veia safena magna de coxa. As amostras foram obtidas no período de janeiro de 2005 a dezembro de 2006, de operações realizadas no Hospital Nossa Senhora das Graças de Curitiba (PR).

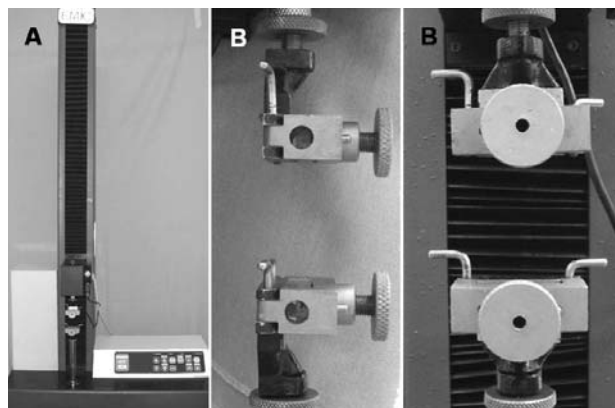
Os segmentos de pericárdio bovino foram obtidos de placas de pericárdio remanescentes utilizadas em pacientes submetidos a endarterectomia de carótida ao longo de 2 anos. Foram coletados 20 segmentos de pericárdio bovino tratados com glutaraldeído 0,5%, conservados em solução de formaldeído a 4%, até a data da realização dos testes de tração. Todas as amostras encontravam-se dentro do prazo de validade especificado pelo fabricante. Na ocasião dos testes de resistência, os segmentos foram recortados das amostras correspondentes e preparados de forma retangular com 5,0 mm de largura e 50 mm de comprimento, semelhantemente às dimensões dos remendos utilizados nas operações de carótida (Figura 1).



**Figura 1** - A) Remendo de pericárdio bovino; B) remendo de veia safena magna retirada da região da coxa

Durante 2 anos, foram extraídos segmentos de veias safenas de sete pacientes que se enquadravam nos critérios de inclusão, após assinatura do termo de consentimento livre e esclarecido. Os critérios de inclusão foram: pacientes com indicação de cirurgia de varizes com safenectomia magna total, exame de eco-Doppler comprovando refluxo venoso em toda extensão da safena magna a ser retirada exceto do terço proximal (segmento a ser testado). Todos os pacientes eram do sexo feminino com idade entre 25 e 40 anos. Todas as pacientes apresentavam refluxo venoso na perna pelo menos na metade distal da coxa, razão pela qual foram submetidas à retirada de toda veia safena. A safenectomia foi realizada por fleboextração através de três incisões transversais: ao nível da prega inguinal, anterior ao maléolo medial e medialmente ao nível da articulação do joelho. As porções proximais das veias safenas eram dissecadas de forma atraumática, retiradas antes da fleboextração e encaminhadas para os testes de tração. Depois de retiradas, as peças eram mantidas em solução fisiológica 0,9% até serem preparadas para o ensaio de tração, que era realizado no máximo entre 60 e 120 minutos após a extração. Os sete segmentos proximais de veia safena magna foram dilatados com soro fisiológico não ultrapassando a pressão 0,5 atm (ou 360 mmHg). Depois de seccionadas longitudinalmente de modo a formarem um remendo retangular, as veias foram recortadas em dimensões iguais, 5 mm de largura e 50 mm de comprimento (Figura 1). Foram confeccionados 20 corpos de prova apropriados para o ensaio de tração, realizado na máquina universal computadorizada de ensaio mecânico, da marca Instron®, modelo 4467 (Instron, Londres, Reino Unido), com garras de pressão pneumática e sistema eletrônico de aquisição dos dados (*software* Instron série IX, versão 7.26.00) (Figura 2).

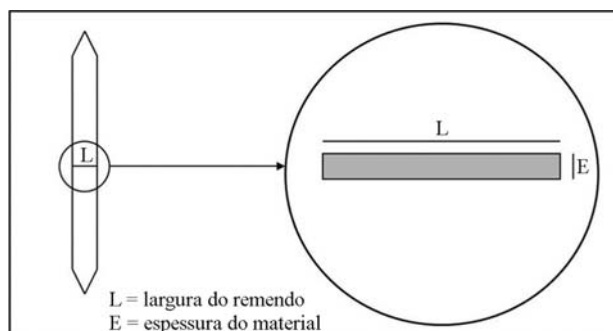
Duas variáveis foram obtidas pelos testes de tração para cada corpo de prova: a força máxima e a força de ruptura. A força máxima é um valor absoluto, expresso em quilograma-força (kgf), e representa a maior força exercida pelo tensiômetro durante todo o ensaio de tração. A força de ruptura, também um valor absoluto expresso em kgf, representa uma força que, se aplicada àquele corpo de prova, provoca sua ruptura. A força de ruptura foi a variável utilizada para calcular a tensão de ruptura dos dois tipos de materiais. Como a tensão (T) é calculada pela relação entre a força (F) e uma unidade de área (S), a fórmula para o cálculo da tensão de ruptura é representada pela fórmula



**Figura 2** - A) Máquina universal de ensaio mecânico computadorizada da marca Instron®, modelo 4467 (Instron, Londres, Reino Unido) e B) garras de pressão pneumática

$T = F/S$ . A letra F representa a força de ruptura de cada corpo de prova, calculada pela máquina universal de ensaio mecânico computadorizada. Embora a unidade de força adotada pelo Sistema Internacional de Unidades seja o Newton (N), a unidade kgf ainda é usada no Brasil, já que a maioria das máquinas usadas nos ensaios de tração utiliza escalas nessa unidade. A letra S representa a área da secção transversa do corpo de prova, calculada pela fórmula  $S = L.E$ , onde L = largura do remendo em milímetros e E = espessura do material em milímetros (Figura 3).

A largura dos remendos de pericárdio bovino e de veia safena foi padronizada na medida de 5,0 mm. A espessura, no caso do pericárdio bovino, foi especificada pelo fabricante como sendo de 0,3 mm em média (variação de 0,25 a 0,35 mm). Porém, um segmento transversal foi retirado de cada peça a ser testada e enviado ao patologista para confirmar a espessura do pericárdio. A espessura dos remendos de veia safena magna foi obtida da seguinte maneira: após a dilatação da veia e preparo dos remendos, um



**Figura 3** - Medida de área da secção transversal dos corpos de prova

segmento transversal foi retirado da extremidade de cada peça antes do ensaio de tração. Tais segmentos foram encaminhados ao patologista para aferição da espessura da parede venosa. A medida foi realizada utilizando-se régua para microscopia óptica em aumento de 40 vezes (Figura 4).

## Resultados

### Comparação da força de ruptura entre os grupos

A força de ruptura encontrada no grupo dos remendos de pericárdio bovino, foi em média  $1,97 \pm 0,51$  kgf (a variação da força de ruptura foi de 1,17 até 3,79 kgf). No grupo dos remendos de veia safena magna, a média da força de ruptura foi de  $1,36 \pm 0,59$  kgf (variando de 0,69 a 2,72 kgf) (Tabela 1).

### Comparação da força máxima entre os grupos

A força máxima calculada no grupo dos remendos de pericárdio bovino foi em média  $2,27 \pm 0,58$  kgf (variando de 1,18 a 3,93 kgf). No grupo dos remendos de veia safena magna de coxa, a média da força máxima foi de  $1,51 \pm 0,53$  kgf (variando de 0,81 a 2,72 kgf) (Tabela 1).

### Comparação da relação força de ruptura/força máxima entre os grupos

A relação entre a força de ruptura e a força máxima foi de  $0,880 \pm 0,117$  em média para o grupo dos remendos de pericárdio bovino, variando de 0,56 a 1,0. No grupo das veias safenas, a média dessa relação foi de  $0,894 \pm 0,162$  variando de 0,48 até 1,0 (Tabela 1).

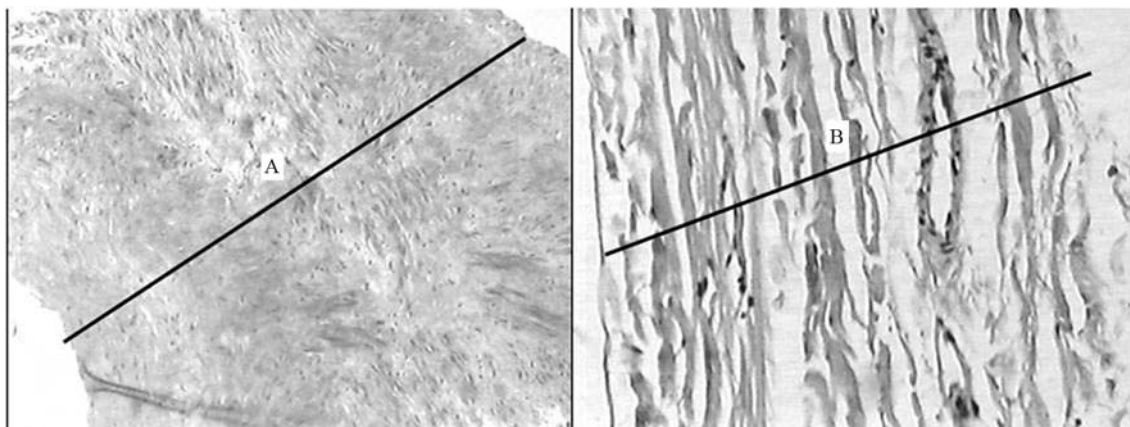
### Comparação da tensão de ruptura entre os grupos

A área utilizada no cálculo da tensão de ruptura para o grupo dos remendos de pericárdio bovino foi em média de  $0,010374 \pm 0,00219$  cm<sup>2</sup>. No grupo de teste dos remendos da veia safena interna de coxa, a área média calculada foi de  $0,030 \pm 0,010$  cm<sup>2</sup>. A largura dos remendos de pericárdio bovino e das veias foi constante (0,5 cm). A espessura média do pericárdio bovino utilizado foi de  $0,02075 \pm 0,0044$  cm (variando de 0,015 a 0,030 cm). A espessura média dos remendos de veia safena foi calculada em  $0,06 \pm 0,02$  cm, variando de 0,02 a 0,09 cm. A tensão de ruptura calculada para os remendos de pericárdio bovino nessa amostra foi de  $193,99$  kgf/cm<sup>2</sup>. O desvio padrão foi de  $\pm 43,05$  kgf/cm<sup>2</sup> e a variação foi de 117 a 260 kgf/cm<sup>2</sup>. No grupo dos remendos de veia safena da coxa, a tensão de ruptura foi calculada em  $49,19 \pm 22,96$  kgf/cm<sup>2</sup>. A variação foi de 18 a 108,8 kgf/cm<sup>2</sup> (Tabela 1).

**Tabela 1** - Comparação entre os grupos I e II em relação aos parâmetros avaliados

Parâmetros	Grupo I (PB)	Grupo II (VSM)	p
FRup (kgf)	$1,97 \pm 0,51$	$1,36 \pm 0,59$	0,001230
FMax (kgf)	$2,27 \pm 0,58$	$1,51 \pm 0,53$	0,000108
FRup/FMax	$0,880 \pm 0,117$	$0,894 \pm 0,162$	0,7565
Área (cm <sup>2</sup> )	$0,0104 \pm 0,0022$	$0,030 \pm 0,01$	$2,047e^{-10}$
TRup (kgf/cm <sup>2</sup> )	$193,99 \pm 43,05$	$49,19 \pm 22,96$	$7,603e^{-16}$

FMax = força máxima; FRup = força de ruptura; PB = pericárdio bovino; TRUP = tensão de ruptura; VSM = veia safena magna.



**Figura 4** - Medida da espessura do A) pericárdio bovino e da B) veia safena magna, realizada em sua porção mais estreita



### Correlação entre espessura do remendo e força de ruptura

Na correlação entre a espessura do pericárdio e força de ruptura, o coeficiente de correlação linear de Pearson foi 0,5032993 (Figura 5). No grupo dos remendos de veia safena, as amostras foram coletadas de sete pacientes diferentes. Os parâmetros de espessura média e força média de ruptura dos sete subgrupos são mostradas na Tabela 2. Na correlação entre a espessura da veia safena magna e força de ruptura, o coeficiente de correlação linear de Pearson foi 0,3062166 (Figura 5).

### Discussão

As complicações relacionadas aos enxertos de pericárdio utilizados na confecção de válvulas cardíacas, em

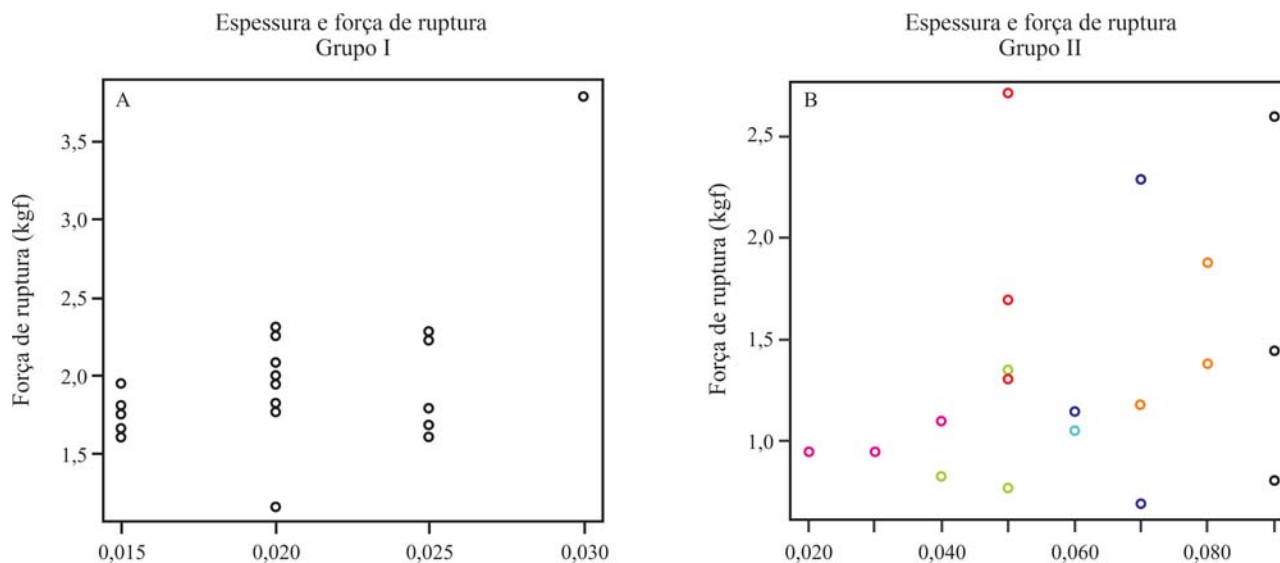
**Tabela 2** - Comparação entre os subgrupos do grupo II, em relação a espessura média e a FRup média

Paciente	n	Espessura média (cm)	FRup média (kgf)
Ila	3	0,090±0	1,61±0,9
Ilb	3	0,050±0	1,91±0,72
Ilc	3	0,046±0,006	0,98±0,31
Ild	3	0,067±0,006	1,37±0,82
Ile	2	0,060±0	1,06±0
Ilf	3	0,030±0,01	0,99±0,08
Ilg	3	0,076±0,006	1,48±0,36

FRup = força de ruptura.

decorrência de calcificação, não têm sido descritas com os remendos usados em endarterectomia de carótida. O mesmo acontece com as dilatações aneurismáticas dos enxertos arteriais de pericárdio bovino. Tais dilatações, previamente atribuídas à degeneração do pericárdio, parcialmente como resultado da antigenicidade, não são relatadas. Como o pericárdio bovino é um tecido predominantemente acelular, graças à evolução do processo de obtenção e preparo dos remendos, a reação imunológica é mínima e a ocorrência de dilatação atualmente é rara<sup>10</sup>.

Com o uso crescente do pericárdio bovino como remendo nas cirurgias de carótida, relatos de pseudoaneurismas vêm sendo publicados na literatura<sup>14,19-21</sup>. No caso relatado por Miyamoto et al.<sup>14</sup>, não houve dano estrutural do remendo de pericárdio, e o pseudoaneurisma se formou na linha de sutura entre a artéria e o remendo. Os casos relatados por Lin et al.<sup>20</sup> e Hertz et al.<sup>21</sup> foram tratados por implante de endoprótese recoberta, não sendo possível analisar a estrutura do remendo. Os pseudoaneurismas podem ter origem tanto na anastomose entre o vaso e o remendo como no próprio remendo. A sua ocorrência foi atribuída, no passado, pela diferença de complacência entre os dois materiais: artéria e prótese<sup>22</sup>. Estudos comparativos mostram que o pericárdio bovino apresenta complacência duas vezes maior que o Dacron® e o politetrafluoretileno, o que poderia atuar como fator protetor contra a formação de pseudoaneurisma na linha de sutura. A maior complacência do pericárdio também atua na estrutura ao redor do



**Figura 5** - Correlação entre espessura do remendo e força de ruptura no A) grupo I e B) grupo II

orifício por onde foi passada a agulha do fio de sutura, fazendo com que retorne a sua forma original, diminuindo a ocorrência de sangramento<sup>23</sup>.

A forma de fixação do pericárdio também pode influenciar sua resistência a ruptura. No nosso estudo, todos os remendos de pericárdio utilizados nos testes de tração foram fixados com solução de glutaraldeído a 0,5%, que altera sua estrutura molecular de modo permanente. O glutaraldeído estabelece ligações cruzadas entre os grupos aldeído e amina das fibras colágenas, aumentando a estabilidade do tecido e, conseqüentemente, aumentando a resistência do material de forma mais eficaz que outras substâncias alternativas que podem ser utilizadas para esse fim: o difenilfosforilazide e o etildimetilaminopropil carbodiimida<sup>24,25</sup>. Além disso, estudos realizados com enxertos de pericárdio bovino tratados com glutaraldeído a 0,6% demonstraram que eles apresentam melhor endotelização da superfície em contato com a corrente sanguínea. A fragmentação das camadas de colágeno também ocorrem mais lentamente nos pericárdio tratados com glutaraldeído do que nos não tratados<sup>26</sup>. Embora não exista uniformidade na concentração do glutaraldeído utilizado na fixação, sua utilização no preparo do pericárdio é fundamental.

Na revisão da literatura, não houve casos de ruptura do remendo de pericárdio bovino, como descrito para os remendos de veia safena. A prevalência de ruptura de remendo de veia safena em endarterectomia de carótida, principalmente quando retirada na região do tornozelo, varia de 0,5 a 2%<sup>2,4,15-17,27-29</sup>. Devido às conseqüências catastróficas relacionadas à ruptura do remendo quando usado na carótida, alguns autores estudaram as propriedades mecânicas da veia safena magna em relação a sua resistência, a fim de encontrar fatores preditivos relacionados à ruptura.

A veia é considerada um material não-isotrópico, por isso responde de maneira diferente quando tensionada em diferentes direções. Essa propriedade da veia safena a faz mais vulnerável em romper-se no eixo axial, observado tanto por estudos experimentais quanto nos casos de ruptura dos remendos de veia safena magna<sup>18,29-31</sup>. Em todos os casos descritos, a ruptura ocorreu como uma fenda no sentido longitudinal da veia. Esse comportamento da veia à ruptura é explicado por Archie & Green<sup>30</sup> pelas seguintes razões: a camada íntima tem as células dispostas em paralelo em relação à direção de fluxo, bem como as células

musculares lisas na camada subendotelial. A adventícia é composta de fibras colágenas também orientadas longitudinalmente. A média, além de uma camada delgada de células musculares lisas dispostas longitudinalmente, é formada por camadas circulares de células musculares lisas responsáveis pela resistência contra a ruptura, induzida pela tensão circunferencial. Essa formação estrutural faz com que a veia seja mais resistente no eixo longitudinal do que no circunferencial. Além disso, a tensão circunferencial gerada pela pressão intraluminal é duas vezes maior, favorecendo a ruptura da veia no eixo axial. O estudo experimental de Donovan suporta tais conceitos<sup>32</sup>. Nesse estudo, todos os parâmetros de força e tensão obtidos foram significativamente maiores quando medidos no sentido longitudinal da veia safena. O pericárdio bovino, por outro lado, não apresenta uma orientação tão distinta de suas fibras colágenas. No presente estudo, para aplicação do mesmo método de ensaio de tração nos dois tipos de material, optamos por tracionar a veia safena em sua orientação longitudinal. A aplicação do ensaio de tração em um modelo circunferencial não seria adequada para o pericárdio bovino. A tentativa implicaria obrigatoriamente na utilização de sutura para a confecção do corpo de prova, adicionando mais uma variável aos testes.

A largura do remendo também pode influenciar sua resistência à ruptura, depois de implantado na carótida. Quanto mais largo for o remendo, maior será o raio total da artéria após o implante, aumentando, assim, a tensão exercida na sua parede, de acordo com a lei de Laplace. Recomenda-se que o remendo não ultrapasse os 4 mm de largura ou que o diâmetro total do bulbo carotídeo com o remendo não ultrapasse 13 mm<sup>18,27</sup>.

No caso do pericárdio bovino, um material plano e não-cilíndrico como a veia, a forma mais adequada para analisar sua resistência à ruptura foi de maneira uniaxial. Como o remendo de pericárdio é mais recente que a veia safena quando usado para fins de remendo em endarterectomia de carótida, há poucos dados na literatura em relação a sua resistência a ruptura. Como a veia safena foi o material mais estudado nesse aspecto, foi utilizado com grupo de comparação. No presente estudo, a força de ruptura foi o principal parâmetro utilizado para comparar a diferença de resistência tecidual entre os dois grupos de remendos, embora a força máxima represente a força de maior intensidade aplicada durante o ensaio de tração. A força

máxima é uma propriedade mecânica analisada na fase plástica da deformação do tecido testado, na qual provavelmente algumas fibras foram rompidas e outras já estão deformadas permanentemente. Mesmo se a força máxima não for atingida, se o material ao ultrapassar o limite elástico, a deformação será irreversível. Como se trata de materiais biológicos, cuja integridade é fundamental para prevenção de rupturas e pseudoaneurisma, quaisquer feixes de fibras rompidas pode levar à ocorrência de complicações graves. A força de ruptura e a tensão de ruptura média dos remendos de pericárdio bovino foi de  $1,97 \pm 0,51$  kgf e  $193,99 \pm 43,05$  kgf/cm<sup>2</sup>, respectivamente. A tensão de ruptura medida em N/mm<sup>2</sup> foi de  $19,02 \pm 4,22$ , acima do valor considerado como adequado por Baucia et al.<sup>33</sup>, de  $17,6$  N/mm<sup>2</sup>. Não há, na literatura, ensaio de tração que define a tensão de ruptura limite para utilização segura do pericárdio bovino como remendo arterial. Nesse estudo de Baucia et al.<sup>33</sup>, não está explícita a forma de obtenção do valor de  $17,6$  N/mm<sup>2</sup>, considerada como limite adequado.

A força de ruptura das veias safenas neste estudo foi em média  $1,36 \pm 0,59$  kgf ou  $13,34 \pm 5,78$  N. No estudo de Donovan et al.<sup>32</sup>, a força de ruptura média de 48 veias safenas testadas da mesma forma foi de  $24,46 + 6,75$  N, quase duas vezes maior. Porém, a força de ruptura pode variar com a espessura e a largura do segmento venoso. Espera-se que quanto mais largo e mais espesso for o remendo, maior será a força necessária para rompê-lo. No presente estudo, a largura dos remendos de veia safena foi fixa (5 mm) e a espessura média foi de  $0,6 + 0,2$  mm. A largura do segmento de veia testada no artigo de Donovan et al. não foi especificada e a espessura média foi de  $0,38 + 0,13$  mm. Nota-se a grande diferença observada em relação à espessura média da veia safena ( $0,6$  versus  $0,38$  mm) encontrada nos dois estudos. Tal diferença na espessura pode ser explicada pelo fato de que todas as veias safenas do presente estudo foram retiradas da região da coxa e quase todas as veias do trabalho de Donovan foram retiradas ao nível da perna. Porém, não se levando em conta a largura (não especificada), deveríamos esperar uma força de ruptura maior em nossa amostra, visto que a espessura média é quase o dobro daquela encontrada por Donovan. É importante ressaltar que, no presente estudo, todas as amostras de veia safena foram retiradas de mulheres, enquanto que no estudo de Donovan, 72,7% dos pacientes eram do sexo masculino. Isso poderia explicar, em parte, a

grande diferença na força de ruptura longitudinal entre os dois estudos. Essa diferença entre os sexos da resistência tecidual à pressão de ruptura foi observada nos estudos de Archie & Green<sup>30</sup>, onde a pressão de ruptura nas veias safenas dos homens foi de 5,39 atm e nas mulheres foi de 3,45 atm ( $p = 0,001$ ). Um outro fator a ser considerado é a presença de varizes clinicamente evidentes em todas as pacientes das quais foram retirados os segmentos de veia safena. Embora as veias fossem livres de refluxo, alterações estruturais clinicamente não-evidentes podem ter diminuído a resistência tensional desses segmentos venosos. Tal correlação entre a presença de varizes e a ocorrência de ruptura por fraqueza da parede venosa foi ressaltada por Van Damme et al.<sup>34</sup>. Mesmo quando comparamos a tensão de ruptura média entre as veias dos dois estudos, notamos que uma grande diferença entre os dois grupos ( $4,8$  versus  $13,22$  Mpa). Lembramos que a unidade Mpa é igual a N/mm<sup>2</sup>, ou seja, força sobre unidade de área. Como a largura não é especificada, a comparação das tensões atua como um fator corretivo para anular a variável área transversal do corpo de prova. Ainda que tensão longitudinal de ruptura no estudo de Donovan et al. seja maior do que a tensão de ruptura do grupo II do presente estudo, ainda é menor quando comparado com ao grupo dos remendos de pericárdio bovino ( $13,22$  versus  $19,02$ ), testados neste estudo. Quando comparamos a força de ruptura entre o grupo I e o grupo II, a diferença é significativa ( $p = 0,001230$ ). O mesmo acontece quando comparamos outros parâmetros como a força máxima ( $p = 0,0001087$ ) e a tensão de ruptura ( $p = 7,603e^{-16}$ ).

Na maioria das amostras submetidas ao ensaio de tração, a força máxima foi maior que a força de ruptura. Quando a força de ruptura é igual à força máxima, a relação força de ruptura/força máxima é igual a 1. Essa relação classifica os materiais em dúcteis ou frágeis. Quanto mais a relação for próxima de 1, mais frágil é o material (como, por exemplo: ferro fundido, vidro, pedra) e mais precocemente rompe quando submetido à tensão que ultrapasse o limite elástico. Na comparação entre as duas amostras, não houve diferença estatisticamente significativa entre os dois grupos, quando se refere à relação força de ruptura/força máxima;  $0,880 \pm 0,117$  versus  $0,894 \pm 0,162$  ( $p = 0,7565$ ) (Tabela 1). Isso demonstra um comportamento semelhante entre os dois materiais, considerando essa característica. Observando os resultados separadamente,

notamos uma grande variação entre as amostras do mesmo grupo, tanto nos pericárdios quanto nas veias (variação de 0,56 a 1,0 e 0,48 até 1,0, respectivamente). Isso ocorre provavelmente pela característica anisotrópica dos materiais biológicos e pela natureza multifatorial da ruptura dos mesmos. A tensão de ruptura é uma grandeza relacionada à força de ruptura em relação à área de secção transversa do material em  $\text{cm}^2$ . A tensão, então, é uma força exercida sobre uma área fixa e conhecida. A grande variação da tensão de ruptura dentro do mesmo grupo também corrobora a teoria da natureza multifatorial da resistência desses remendos biológicos à ruptura (variação de 78 a 252,67  $\text{kgf/cm}^2$  para o pericárdio e 18 a 108,8  $\text{kgf/cm}^2$  para a veia safena). Essa variação sugere a influência de outros fatores, além da espessura e da largura do remendo. Como são materiais biológicos, compostos por diferentes tipos de células e diferentes componentes da matriz extracelular (no caso da veia) além de diferentes tipos de fibras colágenas (pericárdio), o padrão de comportamento desses materiais é justificável.

Analisando a relação entre a espessura do remendo e a sua resistência a ruptura, observamos o seguinte. No grupo I, houve uma correlação positiva entre a espessura do remendo de pericárdio bovino e a força de ruptura, ou seja, existe uma tendência dos pericárdios mais espessos apresentarem maior resistência à ruptura. Porém, pelo coeficiente de correlação linear de Pearson, a correlação foi apenas moderada ( $r = 0,5032993$ ). No grupo dos remendos de veia safena, a correlação entre a espessura da veia e a força de ruptura, embora também positiva, foi considerada baixa ( $r = 0,3062166$ ). A comparação da força de ruptura entre os dois grupos representa situações práticas, já que a força de ruptura é um valor absoluto, o qual não necessita do conhecimento da área transversa do remendo para ser calculada, como é a tensão de ruptura. Na prática clínica, quando utilizamos um remendo, não há meios práticos para determinarmos adequadamente sua espessura. Mesmo no caso do pericárdio bovino que, apesar de a espessura média do produto ser especificada pelo fabricante, verificamos que mais da metade das amostras apresentavam espessura abaixo da especificação. Contudo, tanto a força de ruptura quanto a força máxima e a tensão de ruptura obtidas nos ensaios de tração do pericárdio bovino foram significativamente maiores que o grupo das veias safenas retiradas ao nível da coxa. Mesmo quando comparados à

literatura, os parâmetros de força do pericárdio bovino foram maiores que a resistência tensional das veias em geral, mesmo quando testadas em seu eixo axial, considerado mais resistente. Embora atuem de modo significativo na resistência tecidual de ambos os materiais, as características morfológicas não são as únicas que afetam o risco de ruptura dos remendos. Outros fatores como idade, sexo e presença de hipertensão ou diabetes podem influenciar a resistência das veias<sup>32</sup>. A presença de tributárias e válvulas é um exemplo de regiões não homogêneas da veia que podem apresentar propriedades diferentes das regiões livres dessas características. Mesmo no pericárdio bovino, diferenças na técnica do preparo e conservação podem alterar sua resistência à tração e levar à ruptura. Este estudo sugere a possibilidade da realização de futuras pesquisas para esclarecer outros fatores envolvidos na resistência da veia safena magna e também do pericárdio bovino, visto a grande variabilidade dos resultados obtidos em espécimes de um mesmo grupo (Tabela 2). A causa da ruptura dos remendos é provavelmente multifatorial; porém, forças físicas e características dos materiais atuam de maneira significativa.

### Conclusões

Este estudo permite concluir que a resistência tensional do pericárdio bovino à ruptura foi significativamente maior em comparação à veia safena magna retirada da região da coxa. Além disso, a espessura do remendo em ambos os grupos não apresentou uma boa correlação com sua resistência a ruptura.

### Referências

1. Deriu GP, Ballotta E, Bonavina L, et al. The rationale for patch-graft angioplasty after carotid endarterectomy: early and long-term follow-up. *Stroke*. 1984;15:972-9.
2. Hertzner NR, Beven EG, O'Hara P, Krajewski LP. A prospective study of vein patch angioplasty during carotid endarterectomy. Three-year results for 801 patients and 917 operations. *Ann Surg*. 1987;206:628-35.
3. Little JR, Bryerton BS, Furlan AJ. Saphenous vein patch grafts in carotid endarterectomy. *J Neurosurg*. 1984;61:743-7.
4. Lawthorne TW Jr., Brooks HB, Cunningham JM. Five hundred consecutive carotid endarterectomies: emphasis on vein patch closure. *Cardiovasc Surg*. 1997;5:141-4.
5. Shultz GA, Zammit M, Sauvage LR, et al. Carotid artery Dacron patch graft angioplasty: a ten-year experience. *J Vasc Surg*. 1987;5:475-8.
6. Lord RS, Raj TB, Stary DL, Nash PA, Graham AR, Goh KH. Comparison of saphenous vein patch, polytetrafluoroethylene patch, and direct arteriotomy closure after carotid endar-



- terectomy. Part I. Perioperative results. *J Vasc Surg.* 1989;4:521-9.
7. Katz D, Snyder SO, Gandhi RH, et al. Long-term follow up for recurrent stenosis: a prospective randomized study of expanded polytetrafluoroethylene patch angioplasty versus primary closure after carotid endarterectomy. *J Vasc Surg.* 1994;19:198-203; discussion 204-5.
  8. AbuRahma AF, Khan JH, Robinson PA, et al. Prospective randomized trial of carotid endarterectomy with primary closure and patch angioplasty with saphenous vein, jugular vein, and polytetrafluoroethylene: preoperative (30-day) results. *J Vasc Surg.* 1996;24:998-1006; discussion 1006-7.
  9. Biasi GM, Mingazzini P, Baronio L, Sampaolo A. Processed bovine pericardium as patch angioplasty for carotid endarterectomy: a preliminary report. *Cardiovasc Surg.* 1996;4:848-52.
  10. Grimsley BR, Wells JK, Pearl GJ, et al. Bovine pericardial patch angioplasty in carotid endarterectomy. *Am Surg.* 2001;67:890-5.
  11. Kim GE, Kwon TW, Cho YP, Kim DK, Kim HS. Carotid endarterectomy with bovine patch angioplasty: a preliminary report. *Cardiovasc Surg.* 2001;9:458-62.
  12. Marien BJ, Raffetto JD, Seidman CS, LaMorte WW, Menzoian JO. Bovine pericardium vs. dacron for patch angioplasty after carotid endarterectomy: a prospective randomized study. *Arch Surg.* 2002;137:785-8.
  13. Biasi GM, Sternjakob S, Mingazzini PM, Ferrari SA. Nine-year experience of bovine pericardium patch angioplasty during carotid endarterectomy. *J Vasc Surg.* 2002;36:271-7.
  14. Miyamoto M, Moreira RCR, Stanischeski IC, Moreira BD. Arterioplastia com remendo de pericárdio bovino na endarterectomia de carótida. In: 36º Congresso Brasileiro de Angiologia e Cirurgia Vascular; 2005; Porto Alegre, RS. (Programa oficial p. 23).
  15. Riles TS, Lamparello PJ, Giagola G, Imparato AM. Rupture of the vein patch: a rare complication of carotid endarterectomy. *Surgery.* 1990;107:10-2.
  16. O'Hara PJ, Hertzner NR, Krajewski LP, Beven EG. Saphenous vein patch rupture after carotid endarterectomy. *J Vasc Surg.* 1992;15:504-9.
  17. Scott EW, Dolson L, Day AL, Seeger JM. Carotid endarterectomy complicated by vein patch rupture. *Neurosurgery.* 1992;31:373-6; discussion 376-7.
  18. Archie JP. Carotid endarterectomy saphenous vein patch rupture revisited: selective use on the basis of vein diameter. *J Vasc Surg.* 1996;24:346-51; discussion 351-2.
  19. Neuhauser B, Oldenburg WA. Polyester vs. bovine pericardial patching during carotid endarterectomy: early neurologic events and incidence of restenosis. *Cardiovasc Surg.* 2003;11:465-70.
  20. Lin PH, Bush RL, Lumsden AB. Successful stent-graft exclusion of a bovine patch-related carotid artery pseudoaneurysm. *J Vasc Surg.* 2003;38:396.
  21. Hertz JA, Minion DJ, Quick RC, Moore EM, Schwartz TH, Endean ED. Endovascular exclusion of a postendarterectomy carotid pseudoaneurysm. *Ann Vasc Surg.* 2003;17:558-61.
  22. Gaylis H. Pathogenesis of anastomotic aneurysms. *Surgery.* 1981;90:509-15.
  23. Igo SR, Meador JW, Frazier OH. Comparative in vitro evaluations of vascular graft compliance during dynamic loading. *ASAIO Trans.* 1988;34:785-8.
  24. White MJ, Kohno I, Rubin AL, Stenzel KH, Miyata T. Collagen films: effect of cross-linking on physical and biological properties. *Biomater Med Devices Artif Organs.* 1973;1:703-15.
  25. Jorge-Herrero E, Fernandez P, Turnay J, et al. Influence of different chemical cross-linking treatments on the properties of bovine pericardium and collagen. *Biomaterials.* 1999;20:539-45.
  26. Kim WG, Yang JH, Sung SH. Light and electron microscopic analyses of autologous pericardial tissue used as a small-diameter arterial graft in dogs. *Artif Organs.* 2002;26:58-62.
  27. Katz MM, Jones GT, Degenhardt J, Gunn B, Wilson J, Katz S. The use of patch angioplasty to alter the incidence of carotid restenosis following thromboendarterectomy. *J Cardiovasc Surg (Torino).* 1987;28:2-8.
  28. Eikelboom BC, Ackerstaff RG, Hoeneveld H, et al. Benefits of carotid patching: a randomized study. *J Vasc Surg.* 1988;7:240-7.
  29. Tawes RL Jr., Treiman RL. Vein patch rupture after carotid endarterectomy: a survey of the Western Vascular Society members. *Ann Vasc Surg.* 1991;5:71-3.
  30. Archie JP Jr, Green JJ Jr. Saphenous vein rupture pressure, rupture stress, and carotid endarterectomy vein patch reconstruction. *Surgery.* 1990;107:389-96.
  31. Yu A, Dardik H, Wolodiger F, et al. Everted cervical vein for carotid patch angioplasty. *J Vasc Surg.* 1990;12:523-6.
  32. Donovan DL, Schmidt SP, Townshend SP, Njus GO, Sharp WV. Material and structural characterization of human saphenous vein. *J Vasc Surg.* 1990;12:531-7.
  33. Baucia JA, Leal Neto RM, Rogero JR, Nascimento N. Tratamentos anticalcificantes do pericárdio bovino fixado com glutaraldeído: comparação e avaliação de possíveis efeitos sinérgicos. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2006;21:180-7.
  34. Van Damme H, Grenade T, Creemers E, Limet R. Blowout of carotid venous patch angioplasty. *Ann Vasc Surg.* 1991;5:542-5.
- 
- Correspondência:  
Marcio Miyamoto  
Travessa Lange, 145/601  
CEP 80240-170 – Curitiba, PR  
Tel.: (41) 3244.8787, (41) 3343.1598  
Fax: (41) 3343.1598  
E-mail: miyamoto@gmail.com