

Utilidade do Ultrassom Intracardíaco no Isolamento de Veias Pulmonares Usando Cateter-Balão a Laser

Utility of Intracardiac Ultrasound Imaging to Guide Pulmonary Vein Ablation Using Laser Balloon Catheter

Luiz Leite, Wilber Su, Susan B. Johnson, Mark Milton, Benhur Henz, Alvaro Sarabanda, Simone N. Santos, Douglas L. Packer

Divisão de Doenças Cardiovasculares e Clínica Médica - Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, USA

Resumo

Fundamento: O isolamento das veias pulmonares (IVP) tem sido usado como *endpoint* para a ablação da fibrilação atrial (FA) com cateter balão.

Objetivo: Determinar a utilidade do ultrassom intracardíaco (USIC) para guiar o IVP, usando cateter balão a laser.

Métodos: 59 VP foram ablacionadas em 27 cães. Imagens de Doppler foram usadas para identificar os vazamentos do fluxo sanguíneo entre a VP e o balão. Após cada liberação de energia, o cateter de mapeamento circular foi reposicionado para verificar se o isolamento tinha sido obtido. A posição de vazamento foi então correlacionada com a posição do gap no estudo patológico. A análise de regressão logística multivariada foi realizada.

Resultados: Cinquenta e nove VP foram submetidas à ablação. O tempo médio de energia liberada foi de 279 ± 177 seg., o diâmetro médio do balão era de 23 ± 3 mm, e o comprimento médio do balão era 25 ± 4 mm. O isolamento completo foi obtido em 38/59 (64%), e foi significativamente mais comum sem vazamento: [30/38 (79%) versus 8/23 (35%), $p < 0,001$]. Isso foi independente do tempo de aplicação (302 ± 223 seg. vs. 266 ± 148 sec., $p = ns$), potência (3,5 W/cm, 4,5 W/cm, e 5,5 W/cm), diâmetro do balão (24 ± 3 mm vs. 22 ± 3 mm, $p = ns$) e comprimento (27 ± 4 mm vs. 24 ± 4 mm, $p = ns$). O valor preditivo positivo para previsão de isolamento completo foi de 65% e o valor preditivo negativo foi 83%.

Conclusão: Um vazamento identificável entre a VP e o dispositivo de ablação por cateter-balão observado no USIC é preditor de menor taxa de isolamento de VP mais baixas. O USIC pode ser útil para detectar vazamentos a fim de evitar o uso ineficaz de aplicação energia durante a ablação circunferencial da VP. Isto também pode ser útil quando outras energias são utilizadas. (Arq Bras Cardiol 2009; 93(6):666-671)

Palavras chave: ultra-sonografia, ablação por cateter, veias pulmonares, dilatação com balão.

Summary

Background: Pulmonary vein isolation (PVI) with balloon catheter has been used as the endpoint for AF ablation.

Objective: To determine the usefulness of intracardiac ultrasound (ICUS) to guide PVI using laser balloon catheter.

Methods: 59 PVs were ablated in 27 dogs. Doppler imaging was used to identify blood flow leaks between PV and balloon. After each energy delivery, the circular mapping catheter was repositioned to check if isolation had been achieved. The leak position was then correlated with the gap position at the pathological study. Multivariate logistic regression analysis was undertaken.

Results: 59 PV were ablated. Mean burn time was 279 ± 177 sec, mean balloon diameter was 23 ± 3 mm, and mean balloon length was 25 ± 4 mm. Complete isolation was achieved in 38/59 (64%) cases, and it was significantly more common when there was no leak: [30/38 (79%) versus 8/23 (35%), $p < 0.001$]. This occurred regardless of time of laser application (302 ± 223 sec. vs. 266 ± 148 sec., $p = ns$), laser power (3.5 W/cm, 4.5 W/cm, and 5.5 W/cm), balloon diameter (24 ± 3 mm vs. 22 ± 3 mm, $p = ns$) and length (27 ± 4 mm vs. 24 ± 4 mm, $p = ns$). The positive predictive value for predicting incomplete isolation was 65% and the negative predictive value was 83%.

Conclusion: An identifiable leak between PV and the LBA device seen at the ICUS is predictive of lower PV isolation rates. ICUS may be useful for leak detection to avoid ineffective energy application during circumferential PV ablation. This could also be helpful when other types of energy are used. (Arq Bras Cardiol 2009; 93(6):616-621)

Key Words: ultrasonography; catheter ablation; pulmonary veins; balloon dilatation.

Full texts in English - <http://www.arquivosonline.com.br>

Correspondência: Luiz Leite •

SHIS QI 15 Conjunto G Bloco 3 - Subsolo, Lago Sul, Brasília, DF, Brasil.
E-mail: leite.luiz@brturbo.com.br

Artigo recebido em 22/06/08; revisado recebido em 05/10/08; aceito em 22/10/08

Introdução

A Fibrilação Atrial (FA) é uma das arritmias cardíacas mais comuns na prática clínica. Recentemente, vários autores relataram que a maioria das FA paroxísticas pode ser iniciada pelo disparo de focos ectópicos das veias pulmonares (VP)¹⁻³. Embora a FA seja resolvida com a eliminação desses focos de VP através de ablação por cateter com radiofrequência (ACRF), as taxas de recorrência da FA são altas e algumas complicações são muito preocupantes⁴⁻⁶.

A fim de diminuir a recorrência da FA e evitar a estenose de VP, o isolamento da VP tem sido proposto como o *endpoint* para a ablação, seja com RF ou energia alternativa, tais como ultrassom e laser⁷⁻⁹. Um novo método de ablação por cateter-balão a laser (ACBL) foi recentemente desenvolvido para eletricamente isolar a VP do átrio esquerdo ao criar lesões circunferenciais no óstio da VP¹⁰. O ultrassom intracardíaco (USIC) tem sido aplicado no laboratório de eletrofisiologia para guiar a formação de lesões por RF, para realizar punção transeptal e orientar o posicionamento dos cateteres durante ablação da FA¹¹⁻¹³. Embora a utilidade do USIC ainda não seja conhecida na ACBL, ele pode ajudar a determinar a posição do cateter e o contato tecidual adequado.

Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi determinar o papel do USIC ao guiar o isolamento da VP com ACBL e avaliar o papel do contato tecidual direto na formação de lesão e isolamento da VP.

Métodos

Preparação dos Animais

O protocolo do estudo foi aprovado pelo Comitê Institucional de Uso e Cuidados Animais da Mayo Foundation – Institutional Animal Care and Use Committee – e todos os procedimentos foram seguidos de acordo com as diretrizes internacionais. Vinte e sete cães machos sem raça definida (SRD), com peso de 30 a 40 kg, foram anestesiados com nembutal (30 mg/kg) em estudos agudos ou brevíal (12.5 mg/kg) seguido de isoflurano (1-3%) em estudos crônicos. Ventilação mecânica foi fornecida durante os procedimentos com suplementação de oxigênio. Após a monitoração do ECG ter sido estabelecida, acesso venoso foi obtido percutaneamente ou através das veias jugulares externas direita e esquerda, usando bainhas 8-12 Fr. A veia femoral direita foi canulada com uma bainha 16 Fr para subsequente acesso à bainha transeptal, como descrito anteriormente¹². Resumidamente, a punção transeptal foi realizada sob orientação fluoroscópica e do USIC através de uma bainha transeptal Mullins e agulha Brockenbrough. Finalmente, uma bainha 8 Fr foi utilizada para canular a artéria femoral direita para monitoração da pressão arterial. Heparina foi administrada para manter o Tempo de Coagulação Ativada (TCA) > 300 segundos.

Imagem do Ultrassom Intracardíaco

O ultrassom intracardíaco foi realizado utilizando-se um cateter de ultrassom 10 Fr, 5,5-10 MHz, com ponta multidirecional dirigível (Acunav; Acuson, Mountain View, CA, EUA) com capacidade de Doppler. Detalhes do modelo do cateter foram relatados anteriormente^{11,14,15}. O cateter de

ultrassom foi avançado através de uma bainha 12 French na veia jugular externa e posicionada no átrio direito superior, de onde era possível visibilizar o átrio esquerdo e a VP e a posição do cateter-balão a laser. O cateter era então acoplado a uma plataforma de imagens ultrassonográficas Sequoia (Acuson, Mountain View, CA, EUA). Antes da aplicação do laser, o USIC com Doppler colorido foi usado para avaliar a presença de vazamento de fluxo sanguíneo entre a VP alvo e a ACBL para otimizar o contato balão-tecido. Além disso, o diâmetro (anterior-posterior e médio-lateral), a circunferencialidade, a área do átrio esquerdo, o diâmetro do óstio da VP e as velocidades de fluxo de Doppler foram medidos antes e depois da ablação usando o USIC.

Estudo eletrofisiológico e ablação por balão a laser

Um cateter 7 Fr, deflectível, de mapeamento circular foi inserido via bainha transeptal e posicionado na VP-alvo para registro e estimulação. Um cateter de 7 Fr, 10-pólos também foi inserido através do acesso jugular e posicionado no seio coronário. Os eletrogramas intracavitários foram mostrados simultaneamente com o ECG de superfície e registrados em um sistema multicanal (Prucka Cardiolab System, GE Medical Systems, Waukesha, WI, EUA). O isolamento da VP foi avaliado durante o ritmo sinusal normal e estimulação do seio coronário distal usando o cateter de mapeamento circular (Figura 1).

A ablação por cateter-balão foi realizada próxima ao orifício da VP através de abordagem transeptal sob orientação fluoroscópica e do USIC. Devido à experiência inicial com este novo cateter-balão, para este protocolo, as VP superiores foram escolhidas para ablação. Após o posicionamento da ponta do balão a laser na VP-alvo, o balão de ablação foi inflado até uma pressão de 1 ATM com mistura de D₂O/contraste radiopaco. Dois tamanhos diferentes de anéis estavam disponíveis: 17 mm e 22 mm (CardioFocus). Ambos o comprimento e o diâmetro do balão foram medidos pelo USIC após o mesmo ter sido inflado. A energia laser foi liberada a 3,5 W/cm, 4,5 W/cm, e 5,5 W/cm por 120 a 720 seg. O sistema de ablação foi seletivamente acoplado à saída do gerador de energia a laser a uma onda contínua de 980 nm e transferido para o balão de ablação através de fibra ótica.

A potência e o tempo durante a ablação foram registrados. As veias pulmonares foram selecionadas para ablação e o cateter a laser foi avançado através de uma bainha 12 Fr posicionada no óstio da veia e a superfície de ablação foi posicionado contra o tecido na área desejada da VP. Utilizou-se fluoroscopia, reflexão luminosa e sensor de contato para determinar o contato do balão com o tecido e a posição do arranjo do cateter via ultrassom foram utilizados para ajudar a determinar a melhor posição. Um registro de ativação foi feito antes e após cada lesão ter sido criada usando um cateter de mapeamento circular. Se informação da posição fluoroscópica ou do US indicasse que o contato era grosseiramente sub-ótimo, o cateter era reposicionado. A energia a laser foi liberada de acordo com os parâmetros de liberação estabelecidos. A duração da liberação foi de 120 segundos. Após a liberação da energia, os limites dos eletrogramas e da estimulação foram repetidos. Este procedimento foi repetido por até 6 vezes ou até quando o isolamento da VP foi observado. O mapeamento longitudinal e circular da veia foi

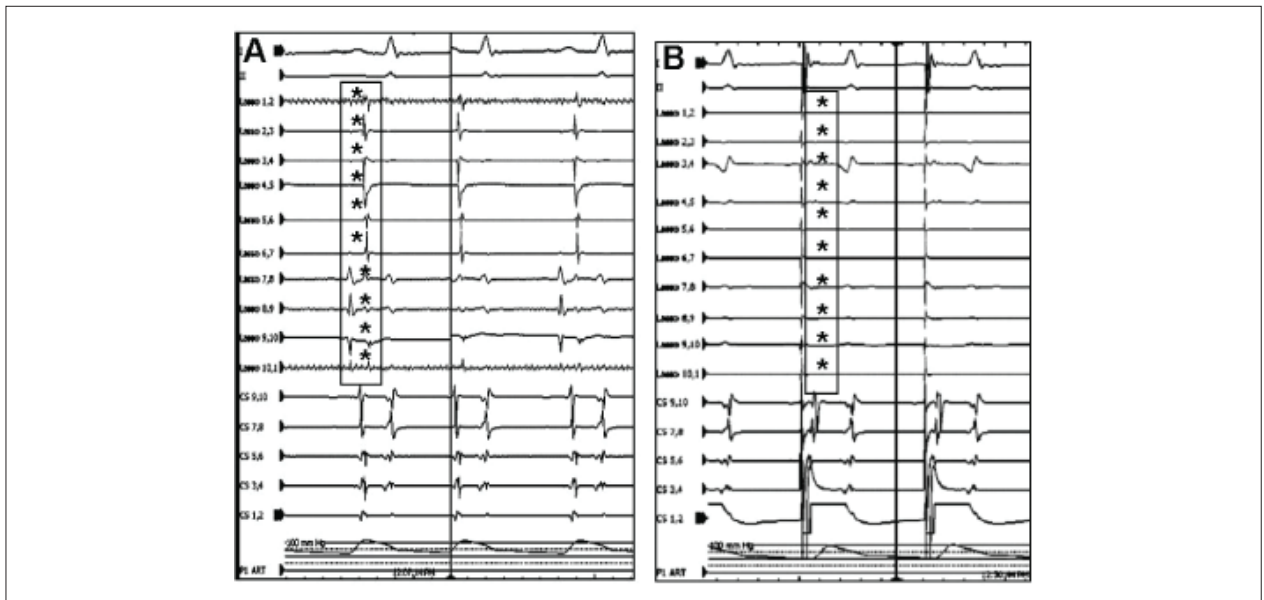


Fig. 1 – Eletrogramas registrados com cateter de mapeamento circular, mostrando a presença de potenciais da VP pré-ablação (*), os quais foram eliminados após a ablação a laser.

utilizado para avaliar bloqueio de entrada durante estimulação do átrio direito, seio coronário e ritmo sinusal.

Caracterização Histológica das Lesões de Ablação

Após cada sessão de ablação, os animais eram retornados ao biotério para monitoração pós-procedimento e 30 dias da fase de maturação. Após esse período, os animais foram novamente anestesiados profundamente com nembutal. A fibrilação ventricular foi induzida com estimulação de alta frequência e os animais foram exsanguinados. Uma toracotomia lateral direita foi realizada e o coração e o pulmão foram conjuntamente retirados com o pericárdio intacto. Uma avaliação macroscópica foi realizada, durante a qual as superfícies dos tecidos endocárdico e epicárdico foram revisadas para verificar a falta de continuidade das lesões de ablação (*gap*). A relação entre esses locais e quaisquer *gaps* aparentes no anel de ablação no orifício da veia pulmonar também foi estabelecida. A localização do *gap* foi então correlacionada com os achados ultrassonográficos.

Análise Estatística

Dados contínuos são apresentados como médias \pm DP, exceto onde indicado em contrário. As diferenças entre a presença e ausência do isolamento da VP foram realizadas através do teste *t* de Student para variáveis contínuas. Para variáveis categóricas, o teste de Qui-quadrado ou Teste Exato de Fisher foram usados, como apropriado. A análise de regressão logística multivariada foi feita para determinar quais dos seguintes fatores estavam associados de forma independente com o isolamento da VP: VP submetida à ablação, energia liberada, e duração da energia a laser, presença de vazamento identificado porUSIC, diâmetro e comprimento do balão para isolamento bem-sucedido da VP. Um método *forward stepwise* (razão de probabilidade) foi usado para determinar os preditores significantes de obtenção

de isolamento completo da VP, considerando-se critérios de eliminação de $p > 0,10$. O intervalo de confiança de 95% foi calculado para *odds ratio* após regressão logística. Um valor de $p \leq 0,05$ foi considerado como estatisticamente significativo. O valor preditivo positivo e negativo da presença de vazamento foi calculado para a obtenção de isolamento da VP.

Resultados

A abordagem transseptal foi realizada de forma bem sucedida em todos os animais e o cateter balão e o cateter de mapeamento circular foram posicionados na VP-alvo. Cinquenta e nove VP foram submetidas à ablação em 27 cães adultos, incluindo 23 VP superiores direitas (VPSD), 27 VP superiores esquerdas (VPSE), 8 VP inferiores esquerdas (VPIE) e 1 VP inferior direita (VPID). Dezesete VP foram submetidas à ablação em 7 cães de forma aguda e 42 VP foram submetidas à ablação em 20 cães de forma crônica. Os potenciais das VP foram observados em todas as veias antes da ablação à laser durante o ritmo sinusal normal e estimulação do seio coronário distal.

Ablação por Balão à Laser e Isolamento da VP

O tempo médio total de ablação foi de 275 ± 88 minutos, e o tempo médio de fluoroscopia foi de 83 ± 18 minutos. De um total de 59 VP, 18, 30% (4 VPSD, 7 VPSE, 6 VPIE e 1 VPID) foram ablacionadas a 3,5 W/cm. Vinte e quatro, 40% VP (11 VPSD, 12 VPSE e 1 VPIE) foram ablacionadas a 4,5 W/cm, e 17, 30% (8 VPSD, 8 VPSE e 1 VPIE) a 5,5 W/cm. Um animal foi submetido à ablação de dois ramos separados da VPSD. A duração média da energia aplicada foi 279 ± 177 seg. O isolamento completo da VP foi obtido em 38/59 (64%) das VP submetidas à ablação. Não houve diferença na duração média da energia aplicada quando o isolamento da VP foi alcançado (266 ± 148 seg.) quando comparada com aquelas cujo isolamento não foi obtido (303 ± 223 seg.). A taxa de isolamento da VP foi significativamente mais

alta ($p=0,002$) com uma potência de 5,5 W/cm (88,9%) e 4,5 W/cm (64,3%) quando comparadas com 3,5 W/cm (30,8%). Não houve diferença entre 4,5 and 5,5 W/cm.

Achados do Ultrassom Intracardiaco e Dados Patológicos

Com a ponta do cateter doUSIC localizado no átrio direito (AD), perto da junção da veia cava superior (VCS) e o AD, foi possível visibilizar o átrio esquerdo, determinar a localização e diâmetro do óstio de todas as VP e medir as velocidades de fluxo da VP pelo Doppler, medidas da ACBL e vazamentos entre a VP e a ACBL. A Figura 2 mostra a disposição da ACBL na VP e como o comprimento e o diâmetro foram medidos. Após ter sido inflado, o diâmetro médio da ACBL foi de $23,1 \pm 3,0$ mm, e o comprimento médio foi de $25,6 \pm 4,4$ mm. Não houve diferença entre o diâmetro e o comprimento da ACBL quando o isolamento da VP foi atingido ou não ($24,1 \pm 3,3$ mm vs. $22,9 \pm 3,2$ mm; $27,2 \pm 4,1$ mm vs. $24,8 \pm 4,3$ mm, respectivamente). O diâmetro médio da VP no orifício foi de $14,1 \pm 2,8$ mm, e não houve diferença entre o isolamento completo e o incompleto ($14,4 \pm$

$2,9$ vs. $13,6 \pm 2,5$, $p = 0,33$). A diferença entre o diâmetro da VP no orifício e o diâmetro do balão após ter sido inflado mostra que havia uma distensão significativa na parede da VP durante a liberação da energia a laser.

O vazamento de fluxo sanguíneo identificado por Doppler colorido entre a ACBL e o tecido da VP foi detectado em 23 de 59 (39%) VP-alvo. A Figura 3 mostra um vazamento na VPSD na parte superior e na VPSE na parte inferior, que se correlacionou com a localização do *gap* na análise patológica (Figura 4). A obtenção de isolamento completo da VP foi significativamente mais comum na ausência de vazamento de fluxo sanguíneo: 30 de 38 (79%) VP, comparadas com 8 de 23 (35%), quando um vazamento foi documentado ($p<0,001$). A critério da presença de vazamento de fluxo sanguíneo através doUSIC teve uma especificidade de 86,8% e uma sensibilidade de 71,5% para não obtenção do isolamento da VP. O valor preditivo positivo para isolamento incompleto foi de 75% e o valor preditivo negativo foi de 84,6%.

Os 4 vazamentos visibilizados na VPSD estavam localizados na parte inferior. Da mesma forma, na análise patológica, o

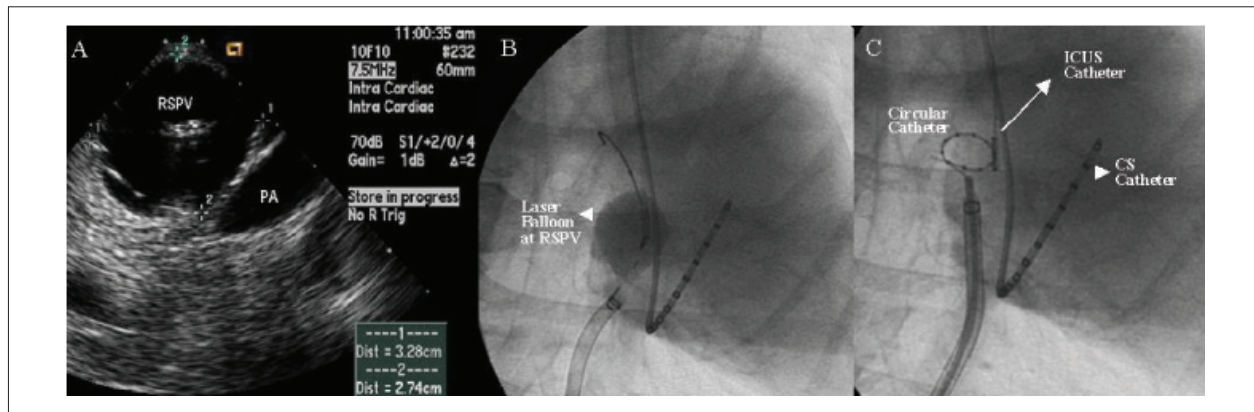


Fig. 2 – A: Corte do eixo curto mostrando o balão a laser inflado no óstio da veia pulmonar superior direita (VPSD), sua relação com a artéria pulmonar (AP) direita e as medidas do balão. As imagens foram obtidas com o cateterUSIC posicionado na junção VCS-AD; B: Visão fluoroscópica do Balão a Laser inflado na VPSD; C: Cateter de mapeamento circular posicionado na VPSD para verificar o isolamento da VP.

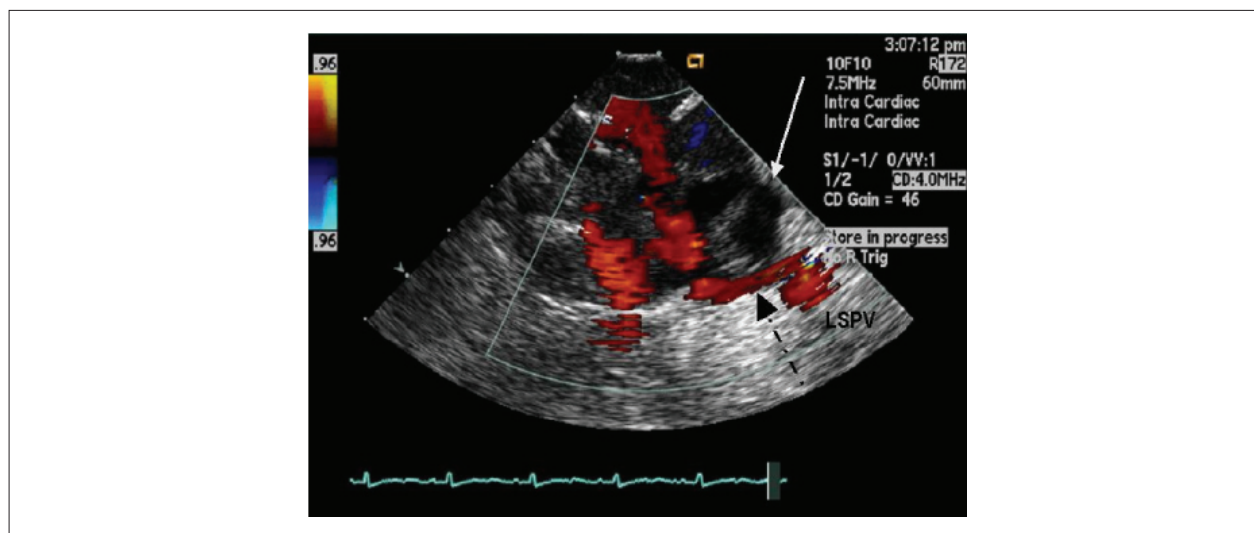


Fig. 3 – Imagem do fluxo de Doppler mostrando um vazamento inferior após o balão ter sido inflado na veia pulmonar superior esquerda (VPSE). As setas brancas apontam a área de contato com o átrio superior esquerdo e as setas negras mostram o vazamento inferior.

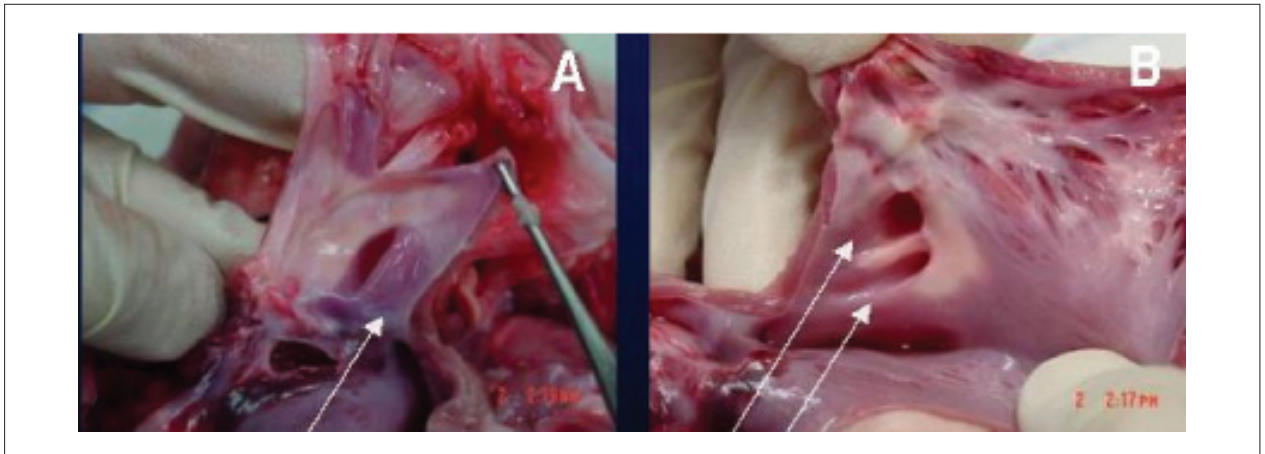


Fig. 4 – Imagens patológicas mostrando exemplos de gaps. As setas mostram gaps nos locais de vazamento vistos noUSIC na VPSD (A) e VPSE (B).

gap estava presente na parte inferior nas 3 VPSD. De forma similar, houve 11 vazamentos visualizados na VPSE: 10 na parte inferior e 1 lateral. O exame macroscópico mostrou 9 gaps localizados na parte inferior e nenhum gap lateral.

Análise por Regressão Logística Multivariada

Na análise por regressão logística multivariada, a ausência de vazamento foi um preditor independente de obtenção de isolamento da VP. Quando esses achados foram analisados por análise multivariada com todos os outros parâmetros testados, incluindo tempo de aplicação, potência, VP submetidas à ablação, diâmetro e comprimento do balão, a chance de obter o isolamento da VP foi significativamente maior quando o vazamento não era visível aoUSIC (OR: 6,5, IC 95%: 1,4-29,1). O isolamento completo da VP mostrou uma tendência a ser independentemente mais comum com o uso de potência de 4,5 e 5,5 W/cm do que com 3,5 W/cm ($p = 0,076$, OR: 5,3; IC 95%: 0,84- 33,0). Os vasos superiores, que foram preditores de isolamento elétrico na análise univariada, não atingiram significância estatística ao nível de 0,05 na análise multivariada.

Discussão

Apesar da ênfase de vários estudos sobre a importância do contato cateter-tecido, quando uma corrente de radiofrequência é utilizada como fonte de energia, essa informação tem sido estudada recentemente ao utilizar-se energia a laser, especialmente para ablação circunferencial nas VP. O principal achado do presente estudo foi o estabelecimento da utilidade doUSIC para guiar a ablação da VP, usando um novo tipo de ablação por cateter-balão de fibra ótica com energia a laser. Observamos que o isolamento elétrico completo da VP era significativamente mais comum quando não havia identificação de vazamento de fluxo sanguíneo entre o tecido da VP e a ablação por cateter-balão, o que determina a importância do contato cateter-balão-tecido também com o uso da energia a laser. Um bom contato entre o balão e o orifício da VP é necessário para obter uma lesão circunferencial¹⁴⁻¹⁷. Essas necessidades estão provavelmente relacionadas à interações fotomecânicas e fototérmicas entre a energia a laser no tecido

e a transferência de calor, o que pode ser influenciado pelas características da circulação sanguínea e tecido. O ultrassom intracardiaco usando um cateter de ultrassom com arranjo de fase com ponta multidirecional dirigível fornece uma excelente visão das veias pulmonares e dos cateteres colocados dentro desses vasos¹⁸⁻²⁰. A posição do cateter-balão na VP-alvo foi confirmada antes de cada aplicação, e o uso de Doppler colorido mostrou a obtenção do contato entre a parede da VP e a superfície do cateter-balão. OUSIC tem se mostrado muito útil na eletrofisiologia intervencionista, incluindo a cateterização transseptal, visualização de estruturas anatômicas-alvo e avaliação do contato cateter-tecido. Mangrum e cols.²⁰ relataram a utilidade doUSIC para guiar o isolamento da VP em seres humanos, mostrando a possibilidade de visualizar o posicionamento do cateter, contato com o tecido e formação de lesão, mas usando o sistema rotacional mecânico²⁰. Como novas tecnologias para isolamento da VP usando cateter-balão circunferencial foram desenvolvidas, adicionamos a utilidade do Doppler de fluxo colorido para esse tipo de procedimento e, que seja de nosso conhecimento, este é o primeiro estudo que mostra a importância do contato com o tecido usando ablação a laser.

Desde o primeiro estudo relatado por Jais e cols.²¹ de uma origem focal da FA desencadeada por batimentos ectópicos originados nas VP vários investigadores demonstraram que a energia de RF dirigida a esses focos elimina os batimentos iniciantes da VP e a FA paroxística²¹. Entretanto, as taxas de recorrência da FA após a ablação bem sucedida ainda são altas e complicações podem se desenvolver após o procedimento^{22,23}. A energia de RF também tem sido usada para isolar a VP ao criar uma lesão circunferencial contínua no orifício. Alternativamente, diferentes fontes de energia tem sido utilizadas para ablação circunferencial através de energia radial. Natale e cols.⁷ relataram o uso de cateter-balão de ultrassom para isolar a VP a partir do átrio esquerdo, o que foi obtido em 60% dos casos⁷. No presente estudo, o isolamento da VP foi obtida em 64% dos casos após uma duração média de liberação de energia de 280 ± 177 seg., o que é bastante similar àquela utilizada por Natale e cols.⁷ Entretanto, nossas taxas de isolamento de VP aumentaram para 79% quando não foram observados vazamentos de fluxo sanguíneo.

Limitações do Estudo

Este estudo apresenta varias limitações a serem consideradas. Embora a imagem do USIC tenha mostrado de forma clara o átrio esquerdo e a junção de todas as veias na VP, o número de veias inferiores submetidas à ablação é muito pequeno comparado ao número de veias superiores, e não fomos capazes de demonstrar a mesma utilidade para os dois tipos. Finalmente, estudos adicionais são necessários para comparar o uso do USIC com outras novas tecnologias desenvolvidas para estabelecer o contato cateter-tecido. Outra potencial limitação foi a comparação entre o tamanho da VP e o tamanho do balão, o qual não se ajustava. Entretanto, o fato de o diâmetro médio do balão depois de inflado ser significativamente maior do que o diâmetro da VP no orifício de fato melhora o contato cateter-balão-tecido.

Implicações Clínicas

O contato cateter-tecido mostrou ser importante também para a ablação circunferencial a laser usando o cateter balão. Para esse propósito, o ultrassom intracardiaco (USIC) poder

ser útil ao mostrar o vazamento do fluxo sanguíneo durante a liberação de energia, o que aumenta a possibilidade de atingir o isolamento completo da VP. Como conseqüência, o uso do USIC poderia evitar a aplicação ineficaz de energia durante a ablação circunferencial da VP e isso diminuiria o risco de estenose da VP.

Potencial Conflito de Interesses

Declaro não haver conflito de interesses pertinentes.

Fontes de Financiamento

O presente estudo não teve fontes de financiamento externas.

Vinculação Acadêmica

Este artigo é parte de tese de pós-doutorado de Luiz Roberto Leite da Silva pela Mayo Clinic Foundation.

Referências

1. Chen SA, Tai CT, Tsai CF, Hsieh MH, Ding YA, Chang MS. Radiofrequency catheter ablation of atrial fibrillation initiated by pulmonary vein ectopic beats. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2000; 11: 218-27.
2. Arentz T, Blum T, von Rosenthal J, Peters K, Kalusche D. Focal paroxysmal atrial fibrillation: experiences with treatment using high frequency catheter ablation. *Dtsch Med Wochenschr.* 2000; 125: 479-83.
3. Haissaguerre M, Jais P, Shah DC, Takahashi A, Hocini M, Quinon G, et al. Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins. *N Engl J Med.* 1998; 339: 659-66.
4. Robbins IM, Colvin EV, Doyle TP, Kemp WE, Loyd JE, McMahon WS, et al. Pulmonary vein stenosis after catheter ablation of atrial fibrillation. *Circulation.* 1998; 98: 1769-75.
5. Sohn RH, Schiller NB. Left upper pulmonary vein stenosis 2 months after radiofrequency catheter ablation of atrial fibrillation. *Circulation.* 2000; 101: E154-5.
6. Taylor GW, Kay GN, Zheng X, Bishop S, Ideker RE. Pathological effects of extensive radiofrequency energy applications in the pulmonary veins in dogs. *Circulation.* 2000; 101: 1736-42.
7. Natale A, Pisano E, Shewchik J, Bash D, Fanelli R, Potenza D, et al. First human experience with pulmonary vein isolation using a through-the-balloon circumferential ultrasound ablation system for recurrent atrial fibrillation. *Circulation.* 2000; 102: 1879-82.
8. Haissaguerre M, Jais P, Shah DC, Garrigue S, Takahashi A, Laverne T, et al. Electrophysiological end point for catheter ablation of atrial fibrillation initiated from multiple pulmonary venous foci. *Circulation.* 2000; 101: 1409-17.
9. Oral H, Knight BP, Tada H, Ozaydin M, Chugh A, Hassan S, et al. Pulmonary vein isolation for paroxysmal and persistent atrial fibrillation. *Circulation.* 2002; 105: 1077-81.
10. Su W, Johnson S, Packer D. First experience with circumferential pulmonary vein ablation using a laser energy balloon catheter. *Circulation.* 2001; 104: II-567.
11. Packer DL, Stevens CL, Curley MG, Bruce CJ, Miller FA, Khandheria BK, et al. Intracardiac phased-array imaging: methods and initial clinical experience with high resolution, under blood visualization: initial experience with intracardiac phased-array ultrasound. *J Am Coll Cardiol.* 2002; 39: 509-16.
12. Johnson SB, Seward JB, Packer DL. Phased-array intracardiac echocardiography for guiding transseptal catheter placement: utility and learning curve. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2002; 25: 402-7.
13. Morton JB, Sanders P, Byrne MJ, Power J, Mow C, Edwards CA, et al. Phased-Array intracardiac echocardiography to guide radiofrequency ablation in the left atrium and at the pulmonary vein ostium. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2001; 12 (3): 343-8.
14. Reddy VY, Houghtaling C, Fallon J, Fisher G, Farr N, Clarke J, et al. Use of diode laser balloon ablation catheter to generate circumferential pulmonary venous lesions in an open-thoracotomy caprine model. *Pacing Clin Electrophysiol.* 2004; 27: 52-7.
15. Whelan WM, Wyman DR, Wilson B. Investigations of large vessel cooling during interstitial laser heating. *Med Phys.* 1995; 22 (1): 105-15.
16. Chen L, ter Haar G, Hill CR, Dworkin M, Carnochan P, Young H, et al. Effect of blood perfusion on the ablation of liver parenchyma with high-intensity focused ultrasound. *Phys Med Biol.* 1993; 38: 1661-173.
17. Liu Z, Ahmed M, Weistein Y, Yi M, Mahajan RL, Goldberg SN. Characterization of the RF ablation-induced "oven effect": the importance of background tissue thermal conductivity on tissue heating. *Int J Hyperthermia.* 2006; 22: 327-42.
18. Bruce CJ, Packer DL, O'Leary PW, Seward JB. Feasibility study: transesophageal echocardiography with a 10F (3.2- mm), multifrequency (5.5- to 10-MHz) ultrasound catheter in a small rabbit model. *J Am Soc Echocardiogr.* 1999; 12: 596-600.
19. Bruce CJ, Packer DL, Belohlavek M, Seward JB. Intracardiac echocardiography: newest technology. *J Am Soc Echocardiogr.* 2000; 13: 788-95.
20. Mangrum JM, Mounsey JP, Kok LC, De Marco JP, Haines DE. Intracardiac echocardiography-guided, anatomically based radiofrequency ablation of focal atrial fibrillation originating from pulmonary veins. *J Am Coll Cardiol.* 2002; 39: 1964-72.
21. Jais P, Haissaguerre M, Shah DC, Chouairi S, Gencel L, Hocini M, et al. A focal source of atrial fibrillation treated by discrete radiofrequency ablation. *Circulation.* 1997; 95: 572-6.
22. Oral H, Knight BP, Ozaydin M, Toda H, Chugh A, Hassan S, et al. Clinical significance of early recurrences of atrial fibrillation after pulmonary vein isolation. *J Am Coll Cardiol.* 2002; 40 (1): 100-4.
23. Cappato R, Calkins H, Chen SA, Davies W, Iesaka Y, Kalman J, et al. Worldwide survey on the methods, efficacy, and safety of catheter ablation for human atrial fibrillation. *Circulation.* 2005; 111: 1100-105.