



最新の心房細動カテーテルアブレーション

慶應義塾大学医学部循環器内科
高月誠司

I. はじめに

心房細動に対するカテーテルアブレーションは、高周波を熱源とするカテーテルアブレーションが主流であった。その高周波アブレーションも、三次元マッピング装置の進歩やコンタクトフォースセンサーなどにより、より効率的で安全なアブレーションになってきている。しかし、近年、バルーンカテーテルによる肺静脈隔離法が出現し、マーケットシェアを拡大し、心房細動カテーテルアブレーションは大きく様変わりした。現在、バルーンアブレーションとしては、クライオバルーン、ホットバルーン、レーザーバルーンの3種類が使用できるようになり、施設によっては発作性心房細動に対してはまずバルーンアブレーションを行うということも出てきている。ここでは3種のバルーンアブレーションについて紹介する。

II. クライオバルーン

クライオバルーン (Arctic Front Advance 冷凍アブレーションカテーテル, Medtronic 社) は欧州では10年以上前から使用実績があり、最もエビデンスの豊富なバルーン治療である (図1)。径 28 mm ないし 23 mm のバルーンを亜酸化窒素ガスで、マイナス 40°C から 60°C に冷却し、肺静脈入口部周囲の冷凍アブレーションを行うものである。2016年にクライオバルーンと高周波カテーテルアブレーションのランダム化比較試験 (Fire and Ice) が報告され、発作性心房細動の洞調律維持率に差を認めなかった¹⁾。

日本では、2015年10月から発売開始になったが、これは第二世代のクライオバルーンである。第一世代はバルーンの赤道周囲を帯状に冷却するというデザインだったが、第二世代のバルーンは北半球全体が冷却されるようになり、第一世代に比べて急性期の治療成功率、慢性期の洞調律維持率が高くなった¹⁾。また、ほかのバルーンアブレーションにはない利点としては、Achieveカテーテルという専用のリング状電極をバルーンの遠位部に留置することで、肺静脈電位を確認しながら肺静脈隔離できることがあげられる。

高周波アブレーションと比較すると、クライオバルーンの優位性は手技時間の短縮にある。Fire and Iceでは一点一点通電する高周波に比べ、クライオバルーンのほうが手技時間が短かった (140.9分 vs. 124.4分, $p < 0.001$)。また、クライオバルーンは冷却するとバルーンが組織と固着し、たとえ手を離してもカテーテルが動かない、つまりカテーテルの固定が非常によい。クライオバルーンはカテーテルの左房内留置時間が短縮できるため、合併症の減少が期待され、メタアナリシスの結果では心タンポナーデは高周波アブレーションよりも少なかった (オッズ比 0.31, 95%信頼区間 0.15-0.64, $p < 0.01$)²⁾。

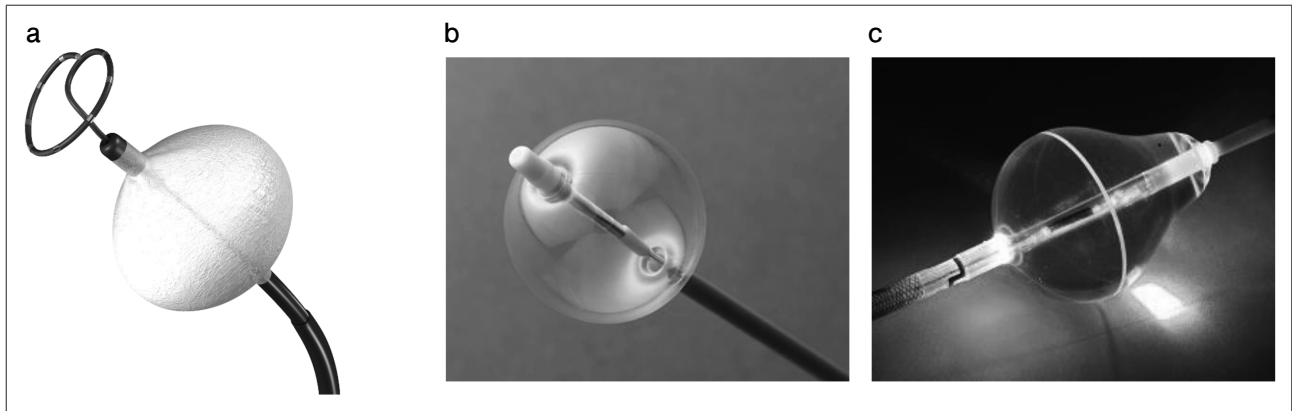


図1 バルーンアブレーションカテーテル

a: クライオバルーン b: ホットバルーン c: レーザーバルーン

〔提供 a: 日本メドトロニック株式会社 b: センチュリーメディカル株式会社 c: 日本ライフライン株式会社〕

一方、合併症として多くは一過性であるが、右(特に右上)肺静脈隔離中の右横隔神経麻痺の頻度が3%前後と高い¹⁾。横隔神経麻痺の予防のため、上大静脈から1.5~2秒間隔で横隔神経刺激を行い、横隔膜の twitching を確認しながら複合横隔膜電位(CMAP)を記録し、振幅が減少したら、すぐに冷却を停止し、麻痺を予防する³⁾。これは、ほかのバルーンアブレーションでも常用するテクニックである。特に右上肺静脈が太く、バルーンが遠位部に入ってしまうような場合、透視の正面像で心陰影の右縁近くにバルーンが位置する場合には注意が必要である⁴⁾。また、遠隔期の肺静脈狭窄⁵⁾や冷却中の気管支内での氷の結晶の形成に関する報告⁶⁾もある。高周波でも同様であるが、必要以上に長い冷却は避けるべきであろう。クライオバルーンの冷却のプロトコールは当初は240秒2回であったが、それが1回になり、180秒1回から、最近では肺静脈隔離後120秒の冷却を追加して終了するプロトコールが浸透してきている⁷⁾。クライオバルーンは、2019年春から第四世代のカテーテルとなった。先端のチップが5mm短くなり、結果カテーテルの取り回しや肺静脈電位の確認が容易になった。

Ⅲ. ホットバルーン

ホットバルーン(SATAKE・HotBalloonカテーテル, 東レ株式会社)は、2015年11月に厚生労働省から製造販売承認を得た(図1)。径3cmのバルーン内の電極に高周波通電することでバルーン内液を70℃前後に加熱し、バルーンと接触する心筋組織を焼灼する。高周波発生装置に付属する攪拌ポンプによって発生した液体振動がバルーン内に伝わり、バルーン内液が攪拌されることで、バルーン表面温度が均一化される。発作性心房細動を対象に、抗不整脈薬とホットバルーンのランダム化比較試験が報告されている⁸⁾。9ヵ月後の洞調律維持率がホットバルーン群で59%であり、抗不整脈薬群の4.7%に比較し有意に高かった。バルーンはコンプライアントであり、生食の注入量によりバルーンの大きさを変えることができる。

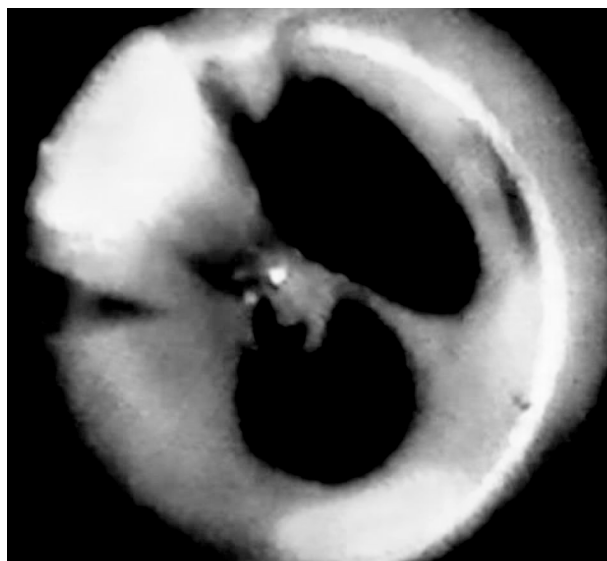


図2 レーザーバルーンシステムの内視鏡像
〔提供 日本ライフライン株式会社〕

IV. レーザーバルーン

レーザーバルーン(HeartLight, Cardiofocus, 日本ライフライン株式会社)は、2018年7月から本邦で発売開始された(図1)。波長980nmのレーザーをバルーン内のシャフトから30°の幅で照射する。エネルギー量は5.5Wから12Wまで調節可能である。バルーンはコンプライアントであり、バルーン内を重水の還流速度を変えることで、サイズはおよそ20mmから35mmまで変えることができる。バルーンの役割は、レーザージェネレーターと心筋組織との間の血液を除去することである。レーザーを血液に照射すると、レーザーエネルギーが血液に吸収され、熱エネルギーが発生し、血栓やバルーンの破裂の原因になる。レーザーバルーンの最大の特徴は、心腔内内視鏡によって焼灼部位が観察できることである(図2)。治療用レーザーとともに焼灼部位を示すためのガイド光を照射し、部位を確認する。20秒から30秒、30°の範囲のレーザー照射を行うため、一周360°をカバーするためには最低12回の照射が必要である。2015年、FDA治験で高周波アブレーションとの比較が報告された。12ヵ月後の洞調律維持率は、レーザーバルーン61.1%、高周波アブレーション61.7%で有意差を認めなかった⁹⁾。

V. バルーンアブレーションの意義

現在、バルーンアブレーションの実施施設基準は、年間30例以上の心房細動アブレーション実施施設で、常勤不整脈専門医一名以上の配置が条件となっている。バルーンアブレーションの適応は発作性心房細動のみであり、肺静脈隔離が治療のメインであることは間違いない。しかし、実際には高周波アブレーションによる肺静脈隔離の追加治療や、肺静脈以外の心房細動起源に対するアブレーションが必要になることもあり、どのような状況にも対応可能な術者であることが望まれる。高周波の場合には、肺静脈隔離ができるようになるためには術者の熟練が必要であるが、クライオバルーンはそのラーニングカーブが急峻である。そのため、術者間、医療機関間の肺静脈隔離の成績に差がつきにくい¹⁰⁾。ア

ブレーションのレベルが担保されるという意味で、患者や紹介元の医療機関の立場からみると、大きな意義がある。術時間が短縮することで、患者、医療者それぞれの負担を減らすことにも貢献する。

VI. 注意喚起

2018年9月、日本不整脈心電学会から「心房細動バルーンアブレーションの合併症に関する緊急注意喚起(改訂)」が出された。クライオバルーンによる空気塞栓、ホットバルーンによる左房食道瘻といった重大な合併症が相次いで発生しており、それに対して注意を促すという内容である。空気塞栓の原因は、バルーンアブレーション用のカテーテル・ガイディングシースは従来の高周波アブレーションに比べ太く、胸腔内が陰圧になった際に左房に留置したシースから空気が入る可能性がある。特に、細い径のアブレーションカテーテルやマッピングカテーテルをバルーンアブレーション用のガイディングシースに挿入すると、カテーテルとシースの間に隙間が生じ、そこから空気が入ってしまう可能性があり、避けるべきである。また胸腔内が陰圧になるのを防ぐために、呼吸管理が重要であり、気道が閉鎖している状態で吸気しないように、つまりいびきをかいた呼吸をしないように細心の注意を払う必要がある。左房食道瘻に関しては、ホットバルーンでは食道を冷却するためのチューブを食道に挿入し、食道温が上昇したら、生食を還流して食道内を冷却する必要があるのだが、それでは十分ではないということである。もちろん、ホットバルーンだけではなく、高周波アブレーションやクライオバルーンアブレーションでも左房食道瘻の報告はある^{11), 12)}。左房食道瘻の頻度は非常に少なく、予防法の確立は困難であり、プロトンポンプインヒビターの内服や食道温度プローブによるモニターも、左房食道瘻の完全な予防にはならない。必要最低限のアブレーションに留めることを心がけることはもちろん、今後さらに安全性を高める必要があるだろう。

〔文 献〕

- 1) Kuck KH, Brugada J, Fürnkranz A, Metzner A, Ouyang F, Chun KR, Elvan A, Arentz T, Bestehorn K, Pocock SJ, Albenque JP, Tondo C ; FIRE AND ICE Investigators : Cryoballoon or Radiofrequency Ablation for Paroxysmal Atrial Fibrillation. *N Engl J Med*, 2016 ; 374 : 2235 ~ 2245
- 2) Cardoso R, Mendirichaga R, Fernandes G, Healy C, Lambrakos LK, Viles-Gonzalez JF, Goldberger JJ, Mitrani RD : Cryoballoon versus Radiofrequency Catheter Ablation in Atrial Fibrillation : A Meta-Analysis. *J Cardiovasc Electrophysiol*, 2016 ; 27 : 1151 ~ 1159
- 3) Lakhani M, Saiful F, Parikh V, Goyal N, Bekheit S, Kowalski M : Recordings of diaphragmatic electromyograms during cryoballoon ablation for atrial fibrillation accurately predict phrenic nerve injury. *Heart Rhythm*, 2014 ; 11 : 369 ~ 374
- 4) Saitoh Y, Ströker E, Irfan G, Mugnai G, Ciconte G, Hünük B, Velagić V, Overeinder I, Tanaka K, Brugada P, de Asmundis C, Chierchia GB : Fluoroscopic position of the second-generation cryoballoon during ablation in the right superior pulmonary vein as a predictor of phrenic nerve injury. *Europace*, 2016 ; 18 : 1179 ~ 1186
- 5) Narui R, Tokuda M, Matsushima M, Isogai R, Tokutake K, Yokoyama K, Hioki M, Ito K, Tanigawa SI, Yamashita S, Inada K, Shibayama K, Matsuo S, Miyayama S, Sugimoto K, Yoshimura M, Yamane T : Incidence and Factors Associated With the Occurrence of Pulmonary Vein Narrowing After Cryoballoon Ablation. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2017 ; 10
- 6) Verma N, Gillespie CT, Lin AC, Knight BP : Ice formation in the left mainstem bronchus during cryoballoon ablation for the treatment of atrial fibrillation. *Heart Rhythm*, 2016 ; 13 : 814 ~ 815
- 7) Aryana A, Kenigsberg DN, Kowalski M, Koo CH, Lim HW, O'Neill PG, Bowers MR, Hokanson RB, Ellenbogen KA ; Cryo-DOSING Investigators : Verification of a novel atrial fibrillation cryoablation dosing algorithm guided by time-to-pulmonary vein isolation : Results from the Cryo-DOSING Study (Cryoballoon-ablation DOSING Based on the Assessment of Time-to-Effect and Pulmonary Vein Isolation Guidance). *Heart Rhythm*, 2017 ; 14 : 1319 ~ 1325

- 8) Sohara H, Ohe T, Okumura K, Naito S, Hirao K, Shoda M, Kobayashi Y, Yamauchi Y, Yamaguchi Y, Kuwahara T, Hirayama H, YeongHwa C, Kusano K, Kaitani K, Banba K, Fujii S, Kumagai K, Yoshida H, Matsushita M, Satake S, Aonuma K : HotBalloon Ablation of the Pulmonary Veins for Paroxysmal AF : A Multicenter Randomized Trial in Japan. *J Am Coll Cardiol*, 2016 ; 68 : 2747 ~ 2757
- 9) Dukkupati SR, Cuoco F, Kutinsky I, Aryana A, Bahnson TD, Lakkireddy D, Woollett I, Issa ZF, Natale A, Reddy VY ; HeartLight Study Investigators : Pulmonary Vein Isolation Using the Visually Guided Laser Balloon : A Prospective, Multicenter, and Randomized Comparison to Standard Radiofrequency Ablation. *J Am Coll Cardiol*, 2015 ; 66 : 1350 ~ 1360
- 10) Providencia R, Defaye P, Lambiase PD, Pavin D, Cebon JP, Halimi F, Anselme F, Srinivasan N, Albenque JP, Boveda S : Results from a multicentre comparison of cryoballoon vs. radiofrequency ablation for paroxysmal atrial fibrillation : is cryoablation more reproducible? *Europace*, 2017 ; 19 : 48 ~ 57
- 11) Pappone C, Oral H, Santinelli V, Vicedomini G, Lang CC, Manguso F, Torracca L, Benussi S, Alfieri O, Hong R, Lau W, Hirata K, Shikuma N, Hall B, Morady F : Atrio-esophageal fistula as a complication of percutaneous transcatheter ablation of atrial fibrillation. *Circulation*, 2004 ; 109 : 2724 ~ 2726
- 12) John RM, Kapur S, Ellenbogen KA, Koneru JN : Atrioesophageal fistula formation with cryoballoon ablation is most commonly related to the left inferior pulmonary vein. *Heart Rhythm*, 2017 ; 14 : 184 ~ 189