

肥厚型心肌病室间隔消减策略的研究进展

李传伟 罗浩 曾春雨

(陆军特色医学中心(陆军军医大学大坪医院)心血管内科 重庆市心血管病研究所, 重庆 400042)

【摘要】 梗阻性肥厚型心肌病的室间隔消减治疗已成为其最重要的治疗手段,近 10 年陆续出现了室间隔射频消融和立体定向放射等各种新技术,在前期的研究中发现可有效地降低左室流出道的压力阶差。但每种技术尚有一定严重并发症的风险,同时对患者的解剖条件要求不一,尽管目前的技术还不尽完美,但他们代表着今后的发展方向,势必对梗阻性肥厚型心肌病的治疗产生革命性的影响。

【关键词】 肥厚型心肌病;流出道梗阻;消融

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2022.01.002

Septal Reduction Therapy of Hypertrophic Cardiomyopathy

LI Chuanwei, LUO Hao, ZENG Chunyu

(Department of Cardiology, Army Medical Center (Army Military Medical University), Chongqing Institute of Cardiology, Chongqing 400042, China)

【Abstract】 Ventricular septal reduction therapy has become the most important treatment for obstructive hypertrophic cardiomyopathy. In recent 10 years, various new technologies such as ventricular septal radiofrequency ablation and stereotactic radiation have emerged. In previous studies, it has been found that it can effectively reduce the pressure gradient of left ventricular outflow tract. However, each technology still has a certain risk of serious complications, and has different requirements for the anatomical conditions of patients. Although the current technology is not perfect, they represent the future development direction and are bound to have a revolutionary impact on the treatment of obstructive hypertrophic cardiomyopathy.

【Key words】 Hypertrophic cardiomyopathy; Outflow tract obstruction; Ablation

肥厚型心肌病(hypertrophic cardiomyopathy, HCM)是全球最常见的遗传性心肌病之一,据报道在美国青年成人中无法解释的无症状心肌肥厚患病率为 1/200 ~ 1/500^[1],而中国 HCM 患病率约为 80/10 万^[2]。大部分 HCM 可长期无症状,仅通过常规体检中异常的心电图、心脏杂音或先证者家系遗传筛查而发现。随着病情的进展, HCM 主要表现为呼吸困难、胸痛、心悸甚至猝死。HCM 的病理学基础在于编码肌小节结构蛋白基因(MYH7、MYBPC3、TNNI3、TNNT2、TPM1、MYL2、MYL3 和 ACTC1 等)突变导致心室肌的异常肥厚,引起了相应的血流动力学改变及电生理重构,从而导致临床症状的发生。而室间隔的非对称性异常肥厚是导致症状及影响预后的核心病理改变,根据超声心动图检查时测定的左室流出道压力阶差(left ventricular outflow tract gradient, LVOTG),可将 HCM 分为梗阻性[安静时 LVOTG ≥ 30 mm Hg

(1 mm Hg = 0.133 3 kPa)]、非梗阻性(负荷运动时 LVOTG ≥ 30 mm Hg)和隐匿梗阻性(安静或负荷时 LVOTG 均 < 30 mm Hg)三种亚型。流出道梗阻主要由室间隔上段异常肥厚导致的机械性梗阻及收缩期二尖瓣前移(SAM 征)引起的动力性梗阻构成。因此,目前梗阻性 HCM 治疗的核心是减轻流出道梗阻,可通过 β 受体阻滞剂、非二氢吡啶类钙离子拮抗剂或小分子肌节蛋白抑制剂减慢心率和降低心肌收缩力而实现^[3]。但对于药物治疗欠佳或不能耐受的患者,通过手术及介入的方法进行室间隔消减治疗,减轻流出道的梗阻情况,可显著改善患者的症状及预后。近几年随着经导管间隔支栓塞术和射频导管消融术的出现,室间隔消减在微创治疗方面出现了许多新的技术和方法,取得了重大的研究进展,现就室间隔消减治疗方面新的研究进展做一综述。

基金项目:国家自然科学基金(82170447);陆军军医大学科技创新能力提升专项(32020XQN20)

通信作者:曾春雨, E-mail: chunyu.zeng007@163.com

1 室间隔外科切除术

肥厚室间隔心肌的外科切除术最早由 Morrow 和 Kirklin 于 1961 年提出。Morrow 手术切除范围包括主动脉瓣下方 5 mm 至心尖 5 ~ 7 cm 的心肌组织,切除深度约为基底部厚度的 50%。同时对合并有重度退行性二尖瓣反流的患者还可同步行二尖瓣成形或置换术。Antal 等^[4]报道 41 例外科室间隔切除患者,平均 LVOTG 由术前的 116.7 mm Hg 下降至术后的 22.5 mm Hg,平均室间隔厚度由术前的 2.4 cm 降低至 1.7 cm。其中 1 例(2.4%)术后因低心排血量及难治性心律失常而死亡,另外 1 例患者术后因持续的三度房室传导阻滞植入永久性人工心脏起搏器。美国克利夫兰医学中心报道了近 16 年共 22 678 例室间隔切除患者的长期随访(平均 6.2 年),结果发现,室间隔切除在有效降低 LVOTG 的同时,能减少患者的全因死亡率,随访中有 269 例患者(12%)死亡或发生植入型心律转复除颤器的异常放电^[5]。但外科切除术需全麻后心脏停跳及体外循环,手术创伤大,对术者的经验要求较高,需在较大的中心方能有效地开展。上海华山医院王春生教授团队报道了经主动脉切口途径的室间隔切除术,心脏切口更小,效果与传统的改良 Morrow 手术相当,手术相关的死亡率更低,但仍有较大的外科创口^[6]。同时手术对梗阻的缓解效果需在心脏复跳后评估,无法术中实时地测定 LVOTG 的缓解程度。

2 经皮室间隔酒精化学消融术

由于基底部室间隔的血供主要来源于前降支的第一、第二间隔支,因此通过经皮介入的方法而人为地造成间隔支供血区域肥厚心肌的梗死,可减轻流出道的梗阻程度,1995 年由 Sigwart 成功将该理论运用于临床实践。具体操作方法是:以 OTW 球囊完全阻塞第一间隔支近端后将 1 ~ 2 mL 无水酒精注入间隔支,若 LVOTG 下降不显著,可继续行第二间隔支的酒精消融^[7]。在各中心的报道中,经皮室间隔酒精化学消融术长期与短期的死亡、猝死与卒中等风险与外科切除术相当,但经皮室间隔酒精化学消融术的围手术期死亡率明显低于外科切除术。Batzner 等^[8]报道 952 例患者经皮室间隔酒精化学消融术后为期 6 年的随访发现,94.3% 的患者在消融后症状均有不同程度的缓解,且 5 年的生存率为 95.8%。但酒精消融在缓解 LVOTG 的程度上要逊于外科手术,导致再手术率远高于外科手术,同时有 40% 的患者术后发生高度房室传导阻滞,而约 12.4% 的患者术后需植入永久性人工心脏起搏器^[9-10]。其原因主要在于间隔支血管的变异,肥厚的室间隔区域血供未必完全来自于第一、第二间

隔支,因此酒精化学消融不能造成完全性的透壁损伤。而单纯地增加消融的血管数量或酒精用量并不能明显增加坏死范围,反而增加操作并发症的风险^[11]。此外,由于间隔支的侧支循环开放或酒精逸漏,以及酒精对心肌的直接毒性,可使酒精流向非靶向消融区域,而心脏传导系统中的希氏束及左、右束支近端均走行于室间隔膜部周围,因而术后束支传导阻滞及三度房室传导阻滞的风险明显增加。为克服以上弊端,其他非流体栓塞介质也相继应用于临床,包括微弹簧圈、明胶海绵和聚乙烯醇泡沫颗粒等^[12]。Durand 等^[13]发现使用弹簧圈栓塞间隔支,术后心肌损伤标志物的峰值及心脏磁共振证实其梗死的范围要小于酒精化学消融,因此术后因高度房室传导阻滞需植入起搏器的比例更低。但术后彩色超声测量的室间隔厚度消减程度及 LVOTG 降低幅度略逊于化学消融。

3 室间隔射频消融术

由于间隔支栓塞的临床疗效取决于间隔支的解剖条件,有 5% ~ 15% 的患者间隔支不适合消融,同时由于室间隔梗死后对传导系统的潜在影响,因此梗死范围可控成为降低围手术期并发症的重要方向。射频电流通过组织时可在接触面很小范围的组织内产生阻抗热,并通过传导热损伤周围组织,因而其损伤范围可控,目前已成为心律失常和肿瘤介入常用的能量方式。西京医院刘丽文教授在前期动物实验的基础上,创造性地将既往用于外周肿瘤的冷循环射频消融电极在经胸超声的指引下由心尖插入到肥厚室心肌的基底部,并以 60 ~ 100 W 的能量消融前、后室间隔肥厚的区域,并以其命名为“Liwen”术式^[14]。最初报道的 15 例重度肥厚的患者中,平均室间隔厚度由术前的 25 mm 降低至术后的 14 mm,平均 LVOTG 则由术前的 88 mm Hg 降低至术后的 11 mm Hg,除 1 例患者因损伤冠状静脉系统导致心脏压塞外,无一例发生死亡及植入心脏起搏器^[15]。“Liwen”术式对术中影像学定位及术者的经验要求较高,需控制消融范围在内膜下至少 3 mm,同时避免靠近室间隔膜部(至少 10 mm)消融以避免房室传导阻滞。由于从室间隔中部消融,对于室间隔越厚的患者效果及安全性更佳。术中亦需密切监测,避免消融电极刺穿心脏导致心脏压塞或消融误伤前降支及分支闭塞而导致心肌梗死。

更理想的微创化的消融途径是利用外周血管的经皮导管消融,其中心律失常消融导管是最常用的消融工具。为了构建心室的解剖结构,可使用三维标测系统等进行解剖建模,为了显示消融导管与肥厚间隔及二尖瓣的贴靠关系,可使用心腔内超声进行跟踪。

有别于既往的手术及非手术消融方法,经导管射频消融可在三维模型上标测出希氏束及左束支近端的位置,避免在其周围消融造成严重的房室传导阻滞。同时可经主动脉逆行途径进入流出道进行消融,若梗阻明显,导管则难以进入,也可通过房间隔穿刺经二尖瓣顺行消融。与 Liwen 术式不同的是,导管消融是心内膜面的消融,其消融能量更低,并不会造成室间隔厚度的明显减少。导管消融主要针对 SAM 征中前移的二尖瓣前叶与肥厚室间隔的接触点,造成局部心肌运动减弱,从而减轻 SAM 征导致的动力性梗阻。Cooper 等^[16]于 2016 年报道的 6 例心腔内超声指引下的室间隔射频消融的患者平均 LVOTG 由术前的 64.2 mm Hg 降低至术后的 12.3 mm Hg,同时患者的心功能和活动耐量等均有不同程度的提高。但 Cooper 等^[16]亦发现部分患者术后 LVOTG 出现一过性的反常升高,这可能与心内膜广泛射频消融造成的组织水肿相关,该患者水肿消退术后 6 个月复查有梗阻症状的改善。14%~25% 的梗阻性 HCM 患者因严重的舒张功能不全还合并有心房颤动,射频消融的另一大优势在于可在消融室间隔的同时行心房颤动的肺静脉隔离及线性消融。若不消融室间隔减少 LVOTG,单纯的心房颤动射频消融术后窦性心律维持率低,而一站式手术后窦性心律的维持对于心力衰竭及血栓的预防均有获益^[17]。

4 室间隔立体定位放射治疗

对于 HCM 合并严重心力衰竭,外科手术、经导管间隔支消融或经导管室间隔射频消融均有禁忌,或经过以上治疗后压力阶差缓解不明显的患者,需考虑采用新的能量来消融肥厚室间隔。射波刀,又称“立体定位射波手术平台”,传统主要用于肿瘤放疗。由于 X 射线穿透力强,可到达肥厚心肌深处造成透壁损伤,消融深度高于射频消融。射波刀可根据病灶需求生成陡峭剂量梯度,减少正常组织受到的照射,照射区域更精准,对周边健康脏器保护更有效,单次实施放疗剂量更大。同时引进心电及呼吸门控技术,实时动态追踪及治疗修正呼吸及心动周期对心脏运动的影响^[18]。Cuculich 等^[19]于 2017 年首先在《新英格兰医学》杂志报道使用 25 Gy 的射线对难治性室性心律失常患者的心肌瘢痕区域进行照射,可使残存的心肌均质化,从而明显减少植入型心律转复除颤器的放电频率。由于射波刀的无创性,心力衰竭患者亦可耐受,同时穿透力强,因此可非侵入性地在体外进行放射治疗。射波刀用于室间隔消融的难点在于放疗范围的精准定位及克服心跳和呼吸对靶点的影响。因此,术前心脏磁共振及 CT 影像的融合技术是确定放疗范围

的重要保证,而心电及呼吸门控则是精准治疗的关键。2021 年 3 月由中南大学湘雅医院周胜华教授团队率先施行了梗阻性 HCM 的射波刀治疗,术后即刻的超声学评价显示即刻的室间隔运动度减弱。但患者长期的效应以及潜在的并发症,尚需更大规模临床研究的证实。

5 结论及展望

目前室间隔消融手术已成为梗阻性 HCM 治疗的重要手段。现已出现外科切除、间隔支酒精消融、射频消融及最新的射波刀等治疗方法。但已有的治疗方案还不尽完美,围手术期有一定并发症的风险,同时对于 LVOTG 的缓解程度不尽一致。具体方案的选择应根据室间隔肥厚的解剖学形态、血流动力学的特点以及合并疾病的情况,同时结合患者的治疗意愿及手术风险,选择个体化的室间隔消融策略。虽然部分新技术还处于起步阶段,但从已有的前期结果来看是振奋人心的。有充分的理由相信,梗阻性 HCM 的室间隔消融治疗会朝着更加微创、高效和安全的方向进一步发展。

参 考 文 献

- [1] Ommen SR, Mital S, Burke MA, et al. 2020 AHA/ACC guideline for the diagnosis and treatment of patients with hypertrophic cardiomyopathy: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association joint committee on clinical practice guidelines [J]. *Circulation*, 2020, 142(25):e533-e557.
- [2] Zou Y, Song L, Wang Z, et al. Prevalence of idiopathic hypertrophic cardiomyopathy in China: a population-based echocardiographic analysis of 8080 adults [J]. *Am J Med*, 2004, 116(1):14-18.
- [3] Ho CY, Mealiffe ME, Bach RG, et al. Evaluation of mavacamten in symptomatic patients with nonobstructive hypertrophic cardiomyopathy [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75(21):2649-2660.
- [4] Antal A, Boyacıoğlu K, Akbulut M, et al. Surgical management of hypertrophic obstructive cardiomyopathy [J]. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 68(9):962-968.
- [5] Alashi A, Smedira NG, Hodges K, et al. Outcomes in guideline-based class I indication versus earlier referral for surgical myectomy in hypertrophic obstructive cardiomyopathy [J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(1):e016210.
- [6] Ji Q, Wang YL, Yang Y, et al. Mini-invasive surgical instruments in transaortic myectomy for hypertrophic obstructive cardiomyopathy: a single-center experience with 168 cases [J]. *J Cardiothorac Surg*, 2021, 16(1):25.
- [7] Hess OM, Sigwart U. New treatment strategies for hypertrophic obstructive cardiomyopathy: alcohol ablation of the septum: the new gold standard? [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2004, 44(10):2054-2055.
- [8] Batzner A, Pfeiffer B, Neugebauer A, et al. Survival after alcohol septal ablation in patients with hypertrophic obstructive cardiomyopathy [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72(24):3087-3094.
- [9] Bytçi I, Nistri S, Mörmel S, et al. Alcohol septal ablation versus septal myectomy treatment of obstructive hypertrophic cardiomyopathy: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Clin Med*, 2020, 9(10):3062.
- [10] Sathyamurthy I, Nayak R, Oommen A, et al. Alcohol septal ablation for hypertrophic obstructive cardiomyopathy—8 years follow up [J]. *Indian Heart J*, 2014, 66(1):57-63.

(下转第 17 页)

- International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT) [J]. *Eur Heart J*, 2016, 37 (1) : 67-119.
- [9] Thistlethwaite PA, Kemp A, Du L, et al. Outcomes of pulmonary endarterectomy for treatment of extreme thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2006, 131 (2) : 307-313.
- [10] Mayer E, Jenkins D, Lindner J, et al. Surgical management and outcome of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension; results from an international prospective registry [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 141 (3) : 702-710.
- [11] Delcroix M, Lang I, Pepke-Zaba J, et al. Long-term outcome of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension; results from an international prospective registry [J]. *Circulation*, 2016, 133 (9) : 859-871.
- [12] Cannon JE, Su L, Kiely DG, et al. Dynamic risk stratification of patient long-term outcome after pulmonary endarterectomy; results from the United Kingdom National Cohort [J]. *Circulation*, 2016, 133 (18) : 1761-1771.
- [13] Korsholm K, Andersen A, Mellekjaer S, et al. Results from more than 20 years of surgical pulmonary endarterectomy for chronic thromboembolic pulmonary hypertension in Denmark [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 52 (4) : 704-709.
- [14] 刘盛, 朱家德, 宋云虎. 阜外医院 147 例肺动脉内膜剥脱术单中心经验及远期结果 [J]. *中国循环杂志*, 2017, 32 (z1) : 115-116.
- [15] Kerr KM, Auger WR, Marsh JJ, et al. Efficacy of methylprednisolone in preventing lung injury following pulmonary thromboendarterectomy [J]. *Chest*, 2012, 141 (1) : 27-35.
- [16] Berman M, Tsui S, Vuylsteke A, et al. Successful extracorporeal membrane oxygenation support after pulmonary thromboendarterectomy [J]. *Ann Thorac Surg*, 2008, 86 (4) : 1261-1267.
- [17] 钟冬祥, 管丽华, 周达新. 经肺动脉成形术在慢性血栓栓塞性肺动脉高压应用中的研究进展 [J]. *心血管病学进展*, 2019, 40 (5) : 693-696.
- [18] Voorburg JA, Cats VM, Buis B, et al. Balloon angioplasty in the treatment of pulmonary hypertension caused by pulmonary embolism [J]. *Chest*, 1988, 94 (6) : 1249-1253.
- [19] Feinstein JA, Goldhaber SZ, Lock JE, et al. Balloon pulmonary angioplasty for treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Circulation*, 2001, 103 (1) : 10-13.
- [20] Mizoguchi H, Ogawa A, Munemasa M, et al. Refined balloon pulmonary angioplasty for inoperable patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2012, 5 (6) : 748-755.
- [21] Taniguchi Y, Miyagawa K, Nakayama K, et al. Balloon pulmonary angioplasty; an additional treatment option to improve the prognosis of patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *EuroIntervention*, 2014, 10 (4) : 518-525.
- [22] Ogawa A, Satoh T, Fukuda T, et al. Balloon pulmonary angioplasty for chronic thromboembolic pulmonary hypertension; results of a multicenter registry [J]. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*, 2017, 10 (11) : e004029.
- [23] Araszkievicz A, Darocha S, Pietrasik A, et al. Balloon pulmonary angioplasty for the treatment of residual or recurrent pulmonary hypertension after pulmonary endarterectomy [J]. *Int J Cardiol*, 2019, 278 : 232-237.
- [24] Tsuji A, Ogo T, Demachi J, et al. Rescue balloon pulmonary angioplasty in a rapidly deteriorating chronic thromboembolic pulmonary hypertension patient with liver failure and refractory infection [J]. *Pulm Circ*, 2014, 4 (1) : 142-147.
- [25] Nakamura M, Sunagawa O, Tsuchiya H, et al. Rescue balloon pulmonary angioplasty under veno-arterial extracorporeal membrane oxygenation in a patient with acute exacerbation of chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Int Heart J*, 2015, 56 (1) : 116-120.
- [26] Wiedenroth CB, Liebetrau C, Breihecker A, et al. Combined pulmonary endarterectomy and balloon pulmonary angioplasty in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *J Heart Lung Transplant*, 2016, 35 (5) : 591-596.
- [27] Inami T, Kataoka M, Shimura N, et al. Pulmonary edema predictive scoring index (PEPESI), a new index to predict risk of reperfusion pulmonary edema and improvement of hemodynamics in percutaneous transluminal pulmonary angioplasty [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2013, 6 (7) : 725-736.
- [28] Inami T, Kataoka M, Shimura N, et al. Pressure-wire-guided percutaneous transluminal pulmonary angioplasty: a breakthrough in catheter-interventional therapy for chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2014, 7 (11) : 1297-1306.
- [29] Hosokawa K, Abe K, Oi K, et al. Balloon pulmonary angioplasty-related complications and therapeutic strategy in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *Int J Cardiol*, 2015, 197 : 224-226.
- [30] Ghofrani HA, D'Armini AM, Grimminger F, et al. Riociguat for the treatment of chronic thromboembolic pulmonary hypertension [J]. *N Engl J Med*, 2013, 369 (4) : 319-329.
- [31] Ghofrani HA, Simonneau G, D'Armini AM, et al. Macitentan for the treatment of inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension (MERIT-1): results from the multicentre, phase 2, randomised, double-blind, placebo-controlled study [J]. *Lancet Respir Med*, 2017, 5 (10) : 785-794.
- [32] Jaïs X, D'Armini AM, Jansa P, et al. Bosentan for treatment of inoperable chronic thromboembolic pulmonary hypertension; BENEFIT (Bosentan Effects in inoperable Forms of chronic Thromboembolic pulmonary hypertension), a randomized, placebo-controlled trial [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2008, 52 (25) : 2127-2134.
- [33] Jensen KW, Kerr KM, Fedullo PF, et al. Pulmonary hypertensive medical therapy in chronic thromboembolic pulmonary hypertension before pulmonary thromboendarterectomy [J]. *Circulation*, 2009, 120 (13) : 1248-1254.

收稿日期: 2019-05-27

(上接第 9 页)

- [11] Veselka J, Faber L, Liebrechts M, et al. Alcohol dose in septal ablation for hypertrophic obstructive cardiomyopathy [J]. *Int J Cardiol*, 2021, 333 : 127-132.
- [12] Oto A, Aytemir K, Okutucu S, et al. Cyanoacrylate for septal ablation in hypertrophic cardiomyopathy [J]. *J Interv Cardiol*, 2011, 24 (1) : 77-84.
- [13] Durand E, Mousseaux E, Coste P, et al. Non-surgical septal myocardial reduction by coil embolization for hypertrophic obstructive cardiomyopathy: early and 6 months follow-up [J]. *Eur Heart J*, 2008, 29 (3) : 348-355.
- [14] Liu F, Fu J, Hsi D, et al. Percutaneous intramyocardial septal radiofrequency ablation for interventricular septal reduction: an ovine model with 1-year outcomes [J]. *Cardiology*, 2020, 145 (1) : 53-62.
- [15] Liu L, Li J, Zuo L, et al. Percutaneous intramyocardial septal radiofrequency ablation for hypertrophic obstructive cardiomyopathy [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2018, 72 (16) : 1898-1909.
- [16] Cooper RM, Shahzad A, Hasleton J, et al. Radiofrequency ablation of the interventricular septum to treat outflow tract gradients in hypertrophic obstructive cardiomyopathy; a novel use of CARTOSound® technology to guide ablation [J]. *Europace*, 2016, 18 (1) : 113-120.
- [17] Creta A, Elliott P, Earley MJ, et al. Catheter ablation of atrial fibrillation in patients with hypertrophic cardiomyopathy; a European observational multicenter study [J]. *Europace*, 2021, 23 (9) : 1409-1417.
- [18] Loo BW Jr, Soltys SG, Wang L, et al. Stereotactic ablative radiotherapy for the treatment of refractory cardiac ventricular arrhythmia [J]. *Circ Arrhythm Electrophysiol*, 2015, 8 (3) : 748-750.
- [19] Cuculich PS, Schill MR, Kashani R, et al. Noninvasive cardiac radiation for ablation of ventricular tachycardia [J]. *N Engl J Med*, 2017, 377 (24) : 2325-2336.

收稿日期: 2021-10-25