심장삽입전기장치의 새로운 에너지원

정보영

연세대학교 의과대학 내과학교실

Boyoung Joung, MD, PhD

Division of Cardiology, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

Received: December 30, 2014
Revision Received: May 27, 2015
Accepted: June 29, 2015

Correspondence: Boyoung Joung, MD, Ph.D, Cardiology Division, Department of Internal Medicine, Yonsei University College of Medicine 250 Seongsanno, Seodaemun-gu, Seoul, Republic of Korea 120-752
Tel: +82-2-2228-8460, Fax: +82-2-393-2041
E-mail: cby6908@yuhs.ac

Copyright © 2015 The Official Journal of Korean Heart Rhythm Society Editorial Board & MMK Co., Ltd.

New Energy Source for Cardiac Implantable Electric Device

ABSTRACT

Recently, many cardiac implantable electric devices (CIED) have been used in specific patients. Artificial cardiac pacemakers significantly contribute to the regulation of heart rate by using electrical impulses for contracting the heart muscles of patients with sick sinus syndrome or heart block. The implantable cardioverter defibrillator is used for defibrillation. However, owing to the limited lifespan of the battery, replacement surgery for the artificial pacemaker implanted under the chest skin should be performed every 7 to 10 years. The batteries that power implantable cardioverter defibrillators (ICDs) differ from those used to power implantable pacemakers and most other implantable devices, in that, they must deliver much higher power. Enhancing the battery life is thus a critical issue to assure longer working time of the implanted pacemakers and to increase the replacement cycle. This paper will present several attractive approaches to address this challenge.

Key Words: ■ Pacemaker, Artificial ■ Implantable Cardioverter-Defibrillator

서론

기술의 발달에 따라서 심장 박동기, 제세동기와 같은 심장삽입전기장치(cardiac implantable electric device, CIED)의 기능에도 획기적인 변화가 일어나고 있다. 따라서 이번 호에서는 CIED의 새로운 에너지원에 대하여 다루려고 한다.

새로운 배터리 에너지원의 필요성

박동기는 2가지 문제점이 있다. 첫째는 leads가 잘

부러지거나 문제가 생기는 것이고, 두 번째는 배터리 수명이 제한된다는 점이다. 현재 상용화된 심장 박동기 및 제세동기는 배터리 수명이 한정적이라 수년마다 위험하고 번거로운 배터리 교체 수술을 해야만 한다. 교체 수술 과정에서 감염의 위험이나 교체 비용 등 다양한 문제가 대두되고 있다. 게다가 현재 상용화되는 CIED는 환자의 맥박, 부정맥, 폐동맥 압력 등 수집된 다양한 정보를 체외로 지속적으로 전송하는 데 더욱더 많은 에너지를 소모하여서 배터리 요구가 증가하고 있다. 요즘 사용되는 배터리는 대부분 리튬(lithium)을 양극(anode)으로 사용하며, silver

Figure 1. Composition of silver vanadium oxide battery.

vanadium oxide (SVO)와 polycarbon monofluoride (CFx)를 음극(cathode)으로 사용한다. SVO는 이온의 빠른 이동을 유도하고, CFx는 부피 대비 capacity를 향상시키게 된다 (Figure 1). 제세동기의 경우 두 개의 cell로 구성되어 있으며, 각 cell은 3.5–5 W를 생산할 수 있다.

Leadless Ultrasound-Based Cardiac Stimulation Pacing System

WiCS®-LV 시스템은 에너지를 초음파를 이용하여 전달한다. 작은 수신 전극(receiver-electrode)은 좌심실 내벽에 삽입되는데 초음파 에너지를 전기 조율 신호(pulse)로 전환하여 조율한다. Receiver-electrode는 대퇴동맥을 통해 12F deflectable sheath (WiCS®-LV)를 이용하여 좌심실 내벽에 고정한다. 심박 조율기(pulse generator [transmitter])는 늑골간 피하에 삽입되는데, 초음파 주파수에 따라서 초음파 에너지를 생산하여 좌심실 내벽에 삽입된 electrode로 전달한다. WiCS®-LV 시스템은 다른 심장 박동기, 제세동기 혹은 심장재동기화치료(cardiac resynchronization therapy, CRT)와 같이 삽입이 가능하며, 기존에 device를 가지고 있는 환자에서 추가 유도 삽입 혹은 장치의 재수술 없이 사용이 가능하다.¹² Wise-CRT 연구는 17

명의 환자를 대상으로 leadless 기법을 이용한 좌심실의 수축이 지연된 곳에 receiver-electrode를 위치하여 CRT의 가능성을 조사하였다. 시술은 13명(76.5%)에서 성공하였다. 하지만 3명에서는 심낭 삼출이 발생하여서 향후 시술 기법의 개선이 필요하였다.²

자동시계를 이용한 자가 심박동기

자동시계는 에너지를 손목이 움직이는 데에 따른 기계적 에너지를 전기적 에너지로 전환하여 사용한다. 시계 공학으로 유명한 스위스의 과학자 Zurbuchen 등은 자동시계가 손목의 움직임에서 에너지를 얻는 것에 고안하여 심장의 움직임을 에너지원으로 박동기에 에너지를 공급하는 방식을 이용한 동물 실험 결과를 2014년 유럽심장학회에서 소개하였다. 이 연구에서 에너지 수집 장치(harvesting device)는 자동손목시계에서 사용한 것과 동일한 것을 사용하였고, 플라스틱 케이스를 부착하여 봉합할 곳을 만들어서 60 kg의 돼지 심외막에 부착하였다(Figure 2). 결과는 심장의 움직임으로 에너지 harvesting device가 평균 52 μ W의 에너지를 발생시켰다. 일반적으로 사용되는 박동기는 이보다 적은 10 μ W의 에너지만으로 충분히 심장을 수축시키는 것으로 알려져 있다. 향후 에너지 harvesting device의 크기와 무게를 더욱 줄이고, 심장의 움직임에 좀더 민감하게 만들어지면 심장 박동기 이외에 제세동기, 루프기록기(loop recorder), 약물전달장치 등 다양한 장치에 사용이 가능할 수 있을 것으로 기대된다.

유연한 압전 나노 발전기

나노 발전기(nanogenerator)는 나노 수준(10억 분의 1 m)의 압전 재료(piezoelectric materials)의 압전 효과를 이용하여 전기를 발생하는 장치이다. 압전 효과란 물질에 압력 등의 기계적 힘이 가해졌을 때 전압이 발생하는 현상을 말한다. 대표적인 물질로는 $\text{Pb}[\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x}]\text{O}_3$ (PZT), BaTiO_3 (BTO) 등의 페로브스카이트(perovskite, CaTiO_3) 결정 구조를 가진 세라믹 물질들이 있다. 이 기술은 2009년 MIT 테크놀로지 리뷰의 '세상을 놀라게 할 10대 기술'에 선정될 정도로 큰 관심을 모으고 있으며, 꿈의 무공해, 무한 에너지원으로서 활용이 기대되고 있는 기술이다. 최근 국내

Figure 2. Self-powered cardiac pacemaker using an automatic wristwatch: the energy-harvesting prototype located on the left ventricle.

Figure 3. The flexible piezoelectric pzt thin film nanogenerator. (A) Schematic illustration of the study. (B) The finished flexible piezoelectric nano-generator. (C) The artificial stimulation using the flexible piezoelectric pzt thin film nanogenerator.

연구진이 기존의 산화 아연(ZnO)보다 압전 특성이 수십~수백 배 이상 뛰어난 페로브스카이트 계열 압전 박막을 활용하여 문제를 극복하였고, 기존 세계 최고 기록보다 40여 배 높은 전력을 생성하는 박막 나노 발전기를 만드는데 성공하였으며,^{3,4} 또한 동물의 심장에 연결, 세계 최초의 자가발전 심장 박동기를 구현하는데 성공하였다.⁵

Figure 3의 (A)는 이번 연구의 개략도이다. 이를 살펴보면, 압전 특성이 매우 우수한 단결정 PMN-PT 압전 박막을 이용하여 압전 나노 발전기를 제작하였다. 나노 발전기를 굽힘 기계를 이용하여 반복적으로 구부리고 폼을 때 최고 8.2 V의 전압과 145 μ A의 전류가 출력되었고, 손가락으로 툭툭 쳤을 때 최고 0.22 mA의 전류가 출력되었다. 이 때 출력된 전류의 값은 현존하는 유연한 압전 나노 발전기 중 최고의 값이다(Figure 3B). 동물 실험에서 압전 나노 발전기를 굽혔다 폼을 때 생기는 전기가 쥐 심장을 흥분시킴을 확인하였다(Figure 3C). 향후 압전 나노 발전기가 인체의 적합한 부위에 위치하여 에너지를 취득하게 되면 심장 박동기, 제세동기, 좌심실 보조 장치 등 다양한 장치에 에너지를 공급하는 장치로 사용 가능할 것으로 기대된다.

결론

기술의 발달에 따라서 심장 박동기, 제세동기와 같은 CIED의 기능이나 에너지원에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며 향후 많은 발전이 있을 것으로 기대된다.

References

- 1) Auricchio A, Delnoy PP, Regoli F, Seifert M, Markou T, Butter C. First-in-man implantation of leadless ultrasound-based cardiac stimulation pacing system: Novel endocardial left ventricular resynchronization therapy in heart failure patients. *Europace*. 2013;15:1191-1197.
- 2) Auricchio A, Delnoy PP, Butter C, Brachmann J, Van Erven L, Spitzer S, Moccetti T, Seifert M, Markou T, Laszo K, Regoli F, Collaborative Study G. Feasibility, safety, and short-term outcome of leadless ultrasound-based endocardial left ventricular resynchronization in heart failure patients: Results of the wireless stimulation endocardially for crt (wise-crt) study. *Europace*. 2014;16:681-688.
- 3) Park KI, Xu S, Liu Y, Hwang GT, Kang SJ, Wang ZL, Lee KJ. Piezoelectric batio(3) thin film nanogenerator on plastic substrates. *Nano letters*. 2010;10:4939-4943.
- 4) Park KI, Son JH, Hwang GT, Jeong CK, Ryu J, Koo M, Choi I, Lee SH, Byun M, Wang ZL, Lee KJ. Highly-efficient, flexible piezoelectric pzt thin film nanogenerator on plastic substrates. *Advanced materials*. 2014;26:2514-2520.
- 5) Hwang GT, Park H, Lee JH, Oh S, Park KI, Byun M, Park H, Ahn G, Jeong CK, No K, Kwon H, Lee SG, Joung B, Lee KJ. Self-powered cardiac pacemaker enabled by flexible single crystalline pmn-pt piezoelectric energy harvester. *Advanced materials*. 2014;26:4880-4887.