

## Biphasic 자동형 제세동기 시스템 개발 II

권철기, 정석훈, 방경섭, 채종필, 변길호, \*김응주, \*박희남, 김정국, \*김영훈, 허 용  
명지대학교 공과대학 전자공학과, \*고려대학교 의과대학 순환기 내과

## Development of Automatic External Biphasic Defibrillator System II

Chulki Kwon, Seokhoon Jeong, Kyungsup Bang, Jongpil Chae, Kilho Byun, \*Eungjoo Kim,  
\*Heenam Park, Jungkuk Kim, \*Younghoon Kim, Woong Huh

Department of Electronic Engineering, college of Engineering, Myongji University

\*Department of Cardiology, College of Medicine, Korea University

E-mail : magnetop@mju.ac.kr

### Abstract

본 논문에서는 개발된 biphasic 자동형 제세동기 시스템의 임상적 효용성을 동물실험을 통하여 검증하였다. 개발된 제세동기 시스템은 기존의 monophasic 제세동기와는 달리 낮은 에너지로 세동을 제거하는 biphasic 형으로, 이미 실험실 환경의 테스트를 통해 시스템의 안정성과 알고리즘의 탁월한 검출 능력이 확인되었다. 시스템의 임상적 안전성 및 효용성을 확인하기 위하여 8 마리의 돼지를 사용하여 시스템의 적절한 세동 검출 및 세동제거능력을 실험하였고, 그 후 시스템의 효용성을 향상 시키기 위한 연구로 같은 양의 에너지를 다른 전압 레벨에서 방전시켜 이에 따른 제 세동 효율을 조사하고, 또한 세동 신호의 규칙성과 방전시점에 따른 제 세동 효과를 평가하였다.

### I. 서 론

본 논문에서는 이미 개발된 biphasic 자동형 제세동기 시스템 [1]의 임상적 효용성을 동물실험을 통하여 검증하였다. 개발된 biphasic 자동형 제세동기 시스템의 하드웨어는 생체전위 증폭기, A/D 변환기, 마이크로 프로세서, 고전압 발생회로, 충방전 회로, 그리고 소프트웨어는 심실세동검출 알고리즘과 시스템 제어 알고리

즘으로 구성되었다. Biphasic 제세동기는 낮은 에너지로 세동을 제거하여 더 큰 에너지를 사용하는 monophasic 제세동기에서 발생할 수 있는 심장 조직의 손상을 줄일 수 있는 것으로 알려져 있다[2][3]. 이런 이유로 국내외의 제세동기들의 대부분은 최근에 monophasic 에서 biphasic 제세동기로 옮겨가고 있는 추세이다.

개발된 제세동기 시스템을 사용하기에 앞서 안전성 및 효용성을 검증하기 위해서는 그 시스템의 임상적 테스트가 필수적이다. 현재까지 biphasic 자동형 제세동기 시스템을 개발 하여 동물실험 또는 임상실험에 성공한 나라는 몇 개국 안되는 것으로 알려져 있다.

본 논문에서는 국내에서 최근에 개발한 biphasic 자동형 제세동기 시스템의 동물실험을 통하여 그 시스템의 효용성을 확인하고 아울러 효용성을 향상 시키기 방안을 제시하고자 한다.

### II. 실험 절차

#### 2.1 실험 대상 및 설계

실험 대상으로는 8 마리의 건강한 돼지(18-40Kg)를 선택하였으며 동물 실험은 그림 1 에 보인바 와 같이 설계하였다. 먼저 심실 세동을 발생 시키기 위한 catheter 를 femoral 혈관을 통해 돼지의 심장에 삽입하였고 전기 필스를 발생시키는 pacer 에 연결하였다. Cath-

ter 는 그림의 좌 하단에 보인 pacer 에 연결되어 필요에 따라 동물의 심장에 전기적 펄스를 가해줌에 의해 세동을 유도한다. 동물의 흉부에 붙여진 두 개의 11cm x 8cm (가로 x 세로)의 patch 형 전극은 제세동기에 연결되며, 동물의 ECG 를 받아들여 증폭하게 하는 입력 전극으로 쓰이고 또한 동시에 세동 발생시 biphasic 제 세동 에너지를 동물의 흉부를 통하여 방전하게 하는 출력 전극으로도 쓰인다. 돼지의 흉부로부터 입력되는 ECG 파형 및 자동형 제세동기의 모든 작동은 RS-232 serial 통신을 통해 PC 에 전달되고 저장되어 후에 자동형 제세동기의 동작이 적절하고 프로그램 한 대로 작동했는지를 확인할 수 있도록 하였다.

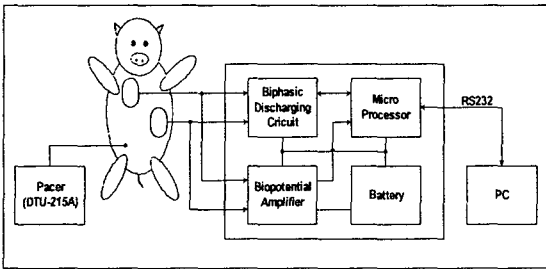


그림 1. 동물실험 설계도

## 2.2 실험 과정

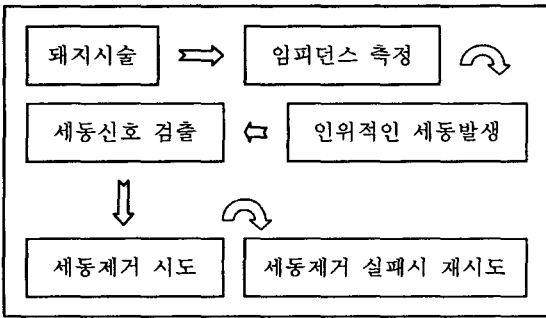


그림 2. 실험 과정 블록 다이어그램

그림 2 에서 보이는 바와 같이 먼저 돼지의 catheter 삽입 시술을 실시 한다. biphasic 방전 파형의 초기전압 및 시간 폭을 계산하기 위해 흉부 임피던스 값을 측정하여 프로그램 한 에너지가 심장에 전달되도록 한다. 돼지의 흉부 임피던스 값을 얻기 위해 70J 의 에너지를 돼지에게 2 회 방전한 결과를 식 (1)에서 유도된 식 (2) 에 적용시켜 계산한 돼지의 평균 흉부 임피던스는 54Ω

이었다.

$$V = V_0 \times e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1)$$

$$R = -\frac{t}{\left(\ln \frac{V}{V_0}\right) \times C} \quad (2)$$

여기서 V 는 실측전압이고 V<sub>0</sub> 는 초기전압, t 는 Pulse duration, R 은 흉부임피던스, C 는 충전 커패시턴스를 나타낸다.

이후 pacer 가 catheter 를 통해 연속적인 전기펄스 (Voltage:5V, Current: 25-500mA, Pulse duration:50ms, Pulse interval:50-200ms)를 그림 3 에서 보인 바와 같이 돼지 심실에 가하여 심실 세동의 유발을 시도한다.

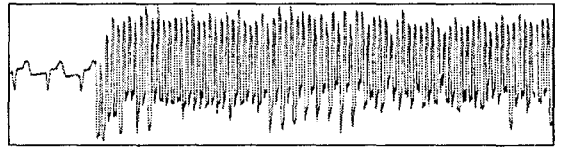


그림 3. 심실 세동을 유발시키기 위해 Pacer 의 전기펄스를 돼지에게 인가한 상태

유발된 세동을 세동검출 알고리즘이 검출하면, 미리 계산된 초기전압과 시간 폭을 갖는 biphasic 파형의 에너지를 방전시켜 세동제거를 시도한다. 만약 방전된 에너지가 세동 제거에 실패하면 20 J 단위로 에너지를 증가 시키며 세동제거를 시도한다. 그리고 세동이 제거된 이후 3 분 이내에는 돼지 심장의 손상을 고려하여 전기충격을 가하지 않는 것으로 한다.

## III. 실험 결과

표 1 에서는 시스템의 효용성 및 효용성 향상을 위한 실험 대상 및 결과를 보이고 있다. 실험 대상으로는 총 8 마리의 돼지를 사용하였으나 3 마리는 세동유발을 위한 catheter 삽입 수술 시 사망하였다.

### 3.1 시스템의 효용성

표 2 는 방전한 biphasic 에너지와 제 세동 역치 (Defibrillation Threshold) 결과의 한 예(돼지 6)를 보이고 있으며 Biphasic 파형의 pulse duration 은 5.75:1.0:2.8 (Phase1:Delay:Phase2) ms 로 설정하여 실험을 실시 하였

다. 표 2 에서 보인 바와 같이 제 세동 역치는 70J-90J 의 에너지 사이에 있는 것으로 판단되었고 이후의 반복된 실험 결과에서도 마찬가지로 70J-90J 의 에너지에서 가장 효율적으로 제 세동을 수행하였다. 그리고 일반적으로 반복된 전기에너지 충격은 세동역치를 증가시킴을 발견할 수 있었다.

표 1. 실험 대상 및 결과

돼지 순서	몸무게 (Kg)	입피턴스(Ω)	제세동역치(J)	비고
1	30	50	70	.
2	25	.	.	시술중 사망
3	42	.	.	시술중 사망
4	38	50	90	.
5	18	.	.	시술중 사망
6	30	60	90	.
7	30	50	70	.
8	40	60	90	.

표 2. 제 세동 역치 확인 실험 결과

실험 회차	에너지 (J)	제 세동 결과
1	50	실패
	70	실패
	90	성공
2	50	실패
	70	성공
3	70	실패
	80	성공
4	80	성공
	80	실패
5	90	성공
	80	성공
7	80	실패
	90	성공
8	80	성공

시스템 작동의 한 예를 그림 4 에 보였다. 낮은 에너지에서는 세동제거에 실패하였더라도 곧이어 방전된 높은 에너지에서는 세동이 제거되었고 세동역치 이상의 에너지에서는 세동제거에 실패한 경우가 전혀 없는 100%의 세동제거 능력을 보였다.

그림 4 에서 A-B 구간은 세동을 유발시키기 위해 세동 발생용 펄스 발생기가 발생시킨 연속적인 전기 펄스를 보인다. 가해진 전기펄스는 B-C 구간에 보인 바와 같이 세동을 유발시켰으며, 제세동기는 그 세동을 검출

하여 C 점에서 biphasic 파형의 제 세동 에너지(70J)를 방전하였다. D 점 이후의 파형은 방전된 제 세동 에너지가 유발된 세동을 제거하였고 ECG 가 정상적으로 회복되었음을 보인다. 자동형 제세동기의 또 다른 중요한 요소인 세동 검출 알고리즘은 적절히 작동하였고, 세동 검출은 거의 모든 경우 세동 발생 후 5 초 이내였으며, 프로그램 된 양의 에너지 방출을 stor-age oscilloscope 에 방전 파형을 저장하여 확인하였으며 미리 프로그램 된 에너지와 측정된 에너지의 오차는 5% 미만이었다.

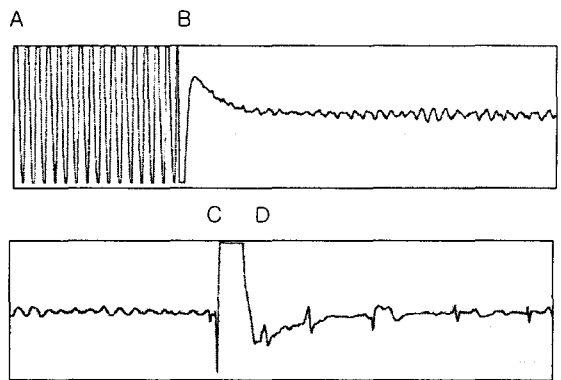


그림 4. 70J 의 biphasic 에너지로 돼지의 심실 세동을 제거하는 과정의 ECG 파형

### 3.2 시스템의 효율성 향상

높은 전압을 기반으로 한 방전 파형과 낮은 전압을 기반으로 한 방전 파형의 제 세동 효율을 확인하기 위해 그림 5 에서 보인 바와 같이 제 세동 역치에서 에너지를 10J 씩 감소 시키면서 동일 에너지를 2 가지 Type 으로 방전하였다. Type A 의 파형은 긴 pulse duration 과 낮은 전압 레벨을 기반으로 한 파형이고, Type B 의 파형은 짧은 pulse duration 과 높은 전압 레벨을 기반으로 하는 파형이다.

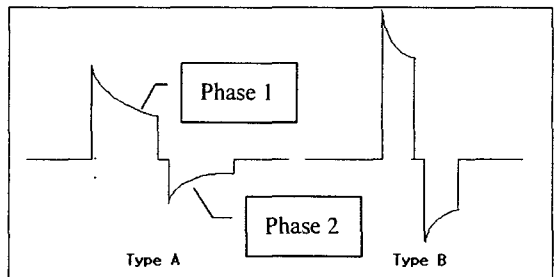


그림 5. 동일 에너지에서 2 가지 type 의 파형

표 3 에서 보인 바와 같이 높은 전압을 기반으로 설정한 방전 실험에서는 50J 이 제 세동 역치인 것으로 확인 하였고 낮은 전압을 기반으로 한 방전 실험에서는 제 120J 의 제 세동 역치를 보이고 있다.

두 번째 실험으로서 제 세동 역치에서 세동 신호의 규칙성(규칙적일 때와 불규칙적일 때)과 시점에 따른 방전시점 결정의 타당성을 반복된 실험을 통해 밝혀내고자 하였으나 조건에 부합하는 데이터가 충분치 못해 효과적인 데이터 분석이 어려웠다.

이 결과는 다른 연구의 내용[2]과 일치하였고 앞으로 반복된 실험을 통한 명확한 검증 과정을 거쳐야 할 것이다. 그리고 세동신호의 규칙성 및 시점에 따른 방전시점 결정은 반복된 실험을 통하여 조건에 맞는 충분한 데이터를 수집하는 것을 필요로 할 것이다.

이번 동물실험은 제세동기의 동물실험과 임상 실험에 있어 중요한 참고 자료를 제공해 줄 것이며, 앞으로 제세동기를 사용함에 있어 효율적인 방안을 제시해 줄 것이다.

표 3. 방전 파형의 특성 파라미터 확인 실험 결과

실험 회차	에너지 (J)	T1 (ms)	T2 (ms)	T3 (ms)	제 세동 결과	방전 파형기반
1	120	6.9	1.0	3.4	성공	낮은전압
2	110	4.6	1.0	2.3	실패	낮은전압
	120	6.9	1.0	3.4	성공	낮은전압
3	120	6.9	1.0	3.4	성공	높은전압
4	110	3.7	1.0	1.8	성공	높은전압
5	100	2.9	1.0	1.4	성공	높은전압
6	90	2.4	1.0	1.2	성공	높은전압
7	80	2.0	1.0	1.0	성공	높은전압
8	70	1.6	1.0	0.9	성공	높은전압
9	60	1.3	1.0	0.7	성공	높은전압
10	50	1.0	1.0	0.5	성공	높은전압
11	40	0.8	1.0	0.4	실패	높은전압
	50	1.0	1.0	0.5	성공	높은전압

#### IV. 결론

본 논문에서는 개발한 biphasic 자동형 제세동기 시스템의 임상적 효용성을 실험에 성공한 5 마리의 돼지에게 실시한 동물 실험을 통하여 확인 하였다.

시스템의 임상적 효용성을 확인하는 실험에서는 적절한 세동 검출 및 세동제거능력을 확인 하였고, 그 시스템의 효용성을 향상 시키기 위한 실험에서는 동일 에너지에서 높은 전압을 기반으로 한 방전 파형이 낮은 에너지를 기반으로 한 방전 파형보다 더 우수한 세동 제거 능력이 있음을 확인 하였다.

#### 참고문헌

- [1] 정석훈, "Biphasic 자동형 제세동기 시스템개발 I", 2003 년 하계종합 학술대회.
- [2] Michelle Specht, "Clinical Studies On Biphasic Defibrillation" Kaiserstrabe 12, 76131 Karlsruhe, February 10, 2000.
- [3] Steven L. Higgins, MD, John M. Herre "A comparison of Biphasic and Monophasic Shocks for External Defibrillation", Physio-Control Biphasic Investigators.
- [4] Michelle Specht, "Clinical Studies On Biphasic Defibrillation" Kaiserstrabe 12, 76131 Karlsruhe, February 10, 2000
- [5] David E. Mohrman, Lois Jane Heller, "Cardiovascular Physiology", McGraw-Hill.
- [6] "자동형 제 세동기의 개발", 방경섭, 채종필, 강성룡, 이상준, 김정국, 허 용, 명지대학교 전자공학과, 제 26 회 대한의용생체공학회 춘계학술대회.