

Resuscitation

전자기장 간섭이 자동제세동기에 미치는 영향: 실험연구 및 문헌고찰

구재은¹ · 유제성² · 주영선² · 공태영² · 고동률² · 정성필^{2*}

안양샘병원 응급의학과¹, 연세대학교 의과대학 응급의학교실²

Effect of Electromagnetic Interference on Automated External Defibrillator: Simulation Study with Literature Review

Jae Eun Ku, M.D.¹, Je Sung You, M.D.², Young Seon Joo, M.D.², Taeyoung Kong, M.D.², Dong Ryul Ko, M.D.², Sung Phil Chung, M.D.^{2*}

Purpose: Automated external defibrillators (AEDs) could not recommend shock for ventricular fibrillation in the presence of electromagnetic interference. The purpose of this study was to examine the effect of an induced electromagnetic field on performance of AED.

Methods: The intensity of magnetic waves from commercial electric mats was measured. Three AEDs were attached to the resuscitation manikin and the question of whether shock would be recommended for simulated electrocardiogram of VF or normal sinus rhythm was tested. The simulation was repeated 10 times under the influence of 0, 5, and 18 μ T magnetic field or electric mat. Relevant literature studies on electromagnetic interference on AED were reviewed.

Results: The magnetic flux density from the electric mat was measured to 5.67-6.1 μ T in warming phase, and 2.25-2.84 μ T in maintenance phase. There was no false positive or false negative recommendation of shock under the influence of 0, 5, and 18 μ T magnetic field or electric mat. However, one AED detected motion even in the stationary state. Among 11 studies from the literature search, five studies reported misinterpretation of AED. Minor errors including delayed analysis, motion artefact, and noise in

speakers were reported from 6 studies.

Conclusion: Although we could not reproduce false negative interpretation, AED made a mistake in confusing electromagnetic interference with motion artefact. Therefore, emergency providers should be cautious not to use AED close to household appliances or medical equipment inducing electromagnetic interference.

Key Words: Defibrillators, Electromagnetic fields, Review

Department of Emergency Medicine, Anyang Sam Hospital, Gyeonggi-do¹, Department of Emergency Medicine, Yonsei University College of Medicine, Seoul², Korea

Article Summary

What is already known in the previous study

An automated external defibrillator did not recommend shock for ventricular fibrillation in the presence of electromagnetic interference from a commercial electric mattress.

What is new in the current study

We could not reproduce false negative interpretation in this experiment. However, AED made a mistake in confusing electromagnetic interference with motion artefact. We found various literature studies reporting electromagnetic interferences from a power plant, mobile phone, and medical device in the literature review.

서 론

전자기장(electromagnetic field)이라고도 불리는 전자파는 광범위한 형태의 전자기 에너지를 말한다. 파장과 주파수에 따라 다양하게 분류되는데, 고압전선이나 가전제품에서 발생하는 저주파수 전자기장과 휴대폰이나 블루투스 등에서 발생하는 무선주파수(radiofrequency) 전자기장으로 나눌 수 있다. 전자기기의 보급과 의료 장비의 무선화

책임저자: 정 성 필
서울특별시 강남구 언주로 211
강남세브란스병원 응급의학과
Tel: 02) 2019-3030, Fax: 02) 2019-4820
E-mail: emstar@yuhs.ac

접수일: 2016년 1월 12일, 1차 교정일: 2016년 1월 24일
게재승인일: 2016년 4월 6일

로 의료 환경도 전자파에 노출될 가능성이 많아졌다. 식품의약품안전처에서는 “의료기기의 전자파 안전에 관한 공통기준규격”을 제정하여 전자파 방해(interference)와 전자파 내성(susceptibility)에 대한 표준 시험 규격을 제시하고 있다.

자동제세동기(automated external defibrillator, AED)는 급성 심장정지가 의심되는 환자의 심전도를 자동으로 판독하여 자동으로 제세동을 시행 또는 권고하는 장비로 판독 오류가 환자의 생존에 영향을 미칠 수 있다. AED 또한 의료장비로서 적정 기준의 전자파 적합성을 통과하여야 한다. 하지만 Ku 등¹⁾은 국내 시판 중인 AED를 대상으로 전기장판에서 발생하는 전자파가 심실빈맥이나 심실세동을 제세동이 필요하지 않다고 판독하는 경우가 있음을 보고하였다.

저자들은 전기장판에서 발생하는 전자파가 AED에 미치는 영향을 연구하기 위해서 실험실 환경에서 전원 주파수로 사용되는 60 Hz의 자기장을 생성하여 전자파의 세기에 따라 AED 판독의 정확도를 알아보려고 이번 연구를 계획하였다. 또한 문헌고찰을 통하여 전자기 간섭이 AED에 미치는 영향을 조사하고자 하였다.

대상과 방법

1. 실험 연구

국내에서 사용되는 AED 중에서 실험 일정에 맞추어 제품 대여가 가능했던 Lifepak CR Plus (Medtronic, Minneapolis, MN, USA), CardioLife TEC 5521 K (Nihon Kohden, Tokyo, Japan), Heart On AED A10 (Mediana, Wonju, Korea)의 3가지 제품을 실험에 사용하였다. Heart On AED A10은 완전 자동이었고, 나머지는 반자동이었다. 본 실험에서 사용한 각 AED는 제품명 대신 ABC로 표시하였다. 인체모형은 Resusci Anne CPR-D (Laerdal Medical)을 사용했으며, AED에 제세동 패드를 부착한 다음 MicroHeartSim (Laerdal Medical, Norway)를 이용하여 심실세동과 정상굴리듬(normal sinus rhythm, NSR)을 발생시켰다. AED 별로 2가지 리듬을 각각 10회씩 발생시키고, 제세동을 권고하는지 조사하였다. 심실세동이지만 제세동을 권고하지 않는 경우를 위음성으로 정의하였고, 정상굴리듬이지만 제세동을 권고하는 경우를 위양성으로 정의하였다²⁾. 위양성과 위음성의 경우를 오작동으로 정의하였다. 한편 AED가 정지 상태임에도 불구하고 환자의 움직임에 감지하거나 밀착된 패드의 접촉을 확인하라는 지시가 나오는 등의 경우를 오류로 정의하였다.

전기장판에서 발생하는 전자파의 세기를 측정하기 위해

ELT-400 (Narda STS, Hauppauge, NY, USA)를 이용하여 자기장을 측정하였다. 전기장판은 리젠트(Reagent electric mattress, Daegu, Korea), 니프티(Nifty electric mattress, Kyungsan, Korea) 두 제품을 사용하였다. 두 가지 전기장판의 전원을 켜지 않았을 때와 전원을 켜고 최고가온 상태에서 전기장판을 6등분 하여 각 부위와 온도 조절기 부위의 자기장을 측정하였다. 각 부위를 3회씩 측정하여 평균값을 구하였다. 전기장판 위에서 3종류 AED를 Anne에 부착 후 두 가지 리듬을 발생시켜 오작동 여부를 실험했다. 대조군으로 테이블 위에 AED를 Anne에 부착하여 오작동 여부를 실험하였다. 자기장의 영향에 따른 AED의 정확도를 보기 위해 MC 2630 (EMTEST, Banovska, Zilina, Slovakia)를 이용하여 자기장을 발생시켰다. 5 μ T와 18 μ T의 자기장을 유도하고 AED를 Anne에 부착하여 오작동 여부를 실험했다. 각각의 동일한 실험을 10회 반복하였다.

2. 문헌 고찰

연구 질문은 “심정지 환자에게 AED를 사용할 때 전자기 간섭이 있는 경우 그렇지 않은 경우에 비해 생존이나 순환 회복, 판독의 정확도를 감소시키는가?”이다. 문헌의 선정 기준은 1966년부터 2015년까지 출판된 초록을 제외한 문헌 중에서 인간 또는 마네킨을 대상으로 하고 방법에 AED가 포함되어 있으며 전자기 간섭의 영향을 결과로 제시하고 있는 문헌을 포함하였다. 문헌검색은 두 명의 연구자가 2015년 6월에 PubMed, Embase, Cochrane library, KoreaMed 등의 database를 검색하였다. 참고로 PubMed에 대한 검색식은 다음과 같다: ((defibrillators [Mesh] OR “automatic external defibrillator\$” [TIAB] OR “automated external defibrillator\$” [TIAB] OR AED* [TIAB] OR defibrillator* [TIAB]) AND (EMI OR electromagnetic [tiab] OR magnetic [tiab] OR interference [tiab])) NOT (implant* [tiab] OR icd [tiab] OR “magnetic resonance” [tiab] OR epilepsy [tiab] OR aedes [tiab]).

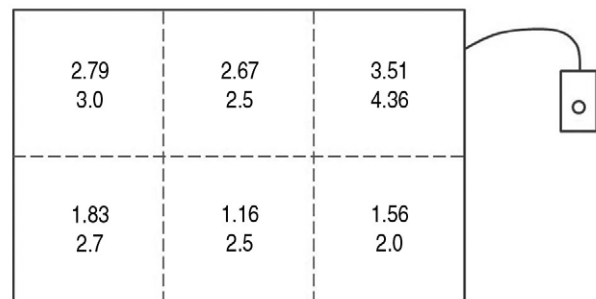


Fig. 1. The density of magnetic field on commercial electric mats (Upper: A mat, Lower: B mat, Unit: μ T).

PubMed 검색에서 85편, Embase 160편, Cochrane library 11편, KoreaMed 3편이 검색되었으며, EndNote (×7.0.2, Thomson Reuters)에 정리하여 중복된 문헌을 제거하여 138편을 얻었다. 제목 및 초록을 보고 필요한 경우 본문을 확인하여 다음과 같은 경우에 해당하는 문헌은 제외하였다: 1) 체내이식형 제세동기를 다룬 경우, 2) 전자파 간섭 이외의 다른 영역의 안전을 다룬 경우, 3) 알고리즘 개발 등 전기공학적인 내용을 다룬 경우, 4) 영어, 한국어 이외의 언어로 출판된 경우. 제외 기준에 해당하는 문헌을 제외하고 최종 선정된 문헌은 11편이었는데, 이를 검토하여 주요 결과를 요약 정리하였다(Fig. 2).

결 과

1. 실험 연구

전기장판의 전원을 켜지 않은 경우 측정되는 자기장은 0.06 μ T였다. 전원을 켜 다음 전원 controller 부위에서는 1.26 μ T, 온도를 최대한 높여 가온 상태일 때 전기장판 위의 자기장의 세기는 최대 5.67–6.1 μ T였다. 최대 온도를 유지하는 상태에서 평균 자기장의 세기는 2.25–2.84 μ T로 부위별 자기장 세기는 Fig. 1과 같았다.

전자파 간섭이 없는 상태에서 AED는 모두 잘 작동되었

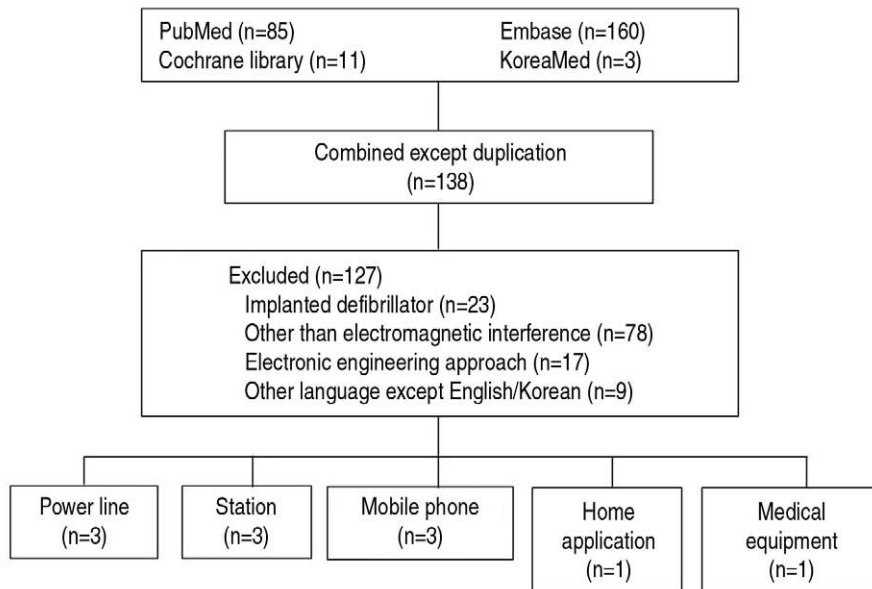


Fig. 2. Flow diagram of search strategy.

Table 1. The proportion of shock recommendation by AED in various interferences

AED	Simulated ECG (N=10)	Induced magnetic field			Electric mat
		0 μ T	5 μ T	18 μ T	
A	VF	100% (10/10)	100% (10/10)	100% (10/10)	100% (10/10)
	NSR	0% (0/10)	0% (0/10)	0% (0/10)	0% (0/10)
B	VF	100% (10/10)	100% (10/10)	100% (10/10)	100% (10/10)
	NSR	0% (0/10)	0% (0/10)	0% (0/10)	0% (0/10)
C	VF	100% (10/10)	100% (10/10)	100% (10/10)	100%* (10/10)
	NSR	0% (0/10)	0% (0/10)	0% (0/10)	0%* (0/10)

* AED detected motion despite still state during each simulated rhythm in 4/10.

Table 2. Summary of published studies about electromagnetic interferences on AED

Author/year	No. of AED/models	Sample size	Setting	Interference setting	Result
Karczmarewicz ¹¹⁾ 2001	N=4/Fore Runner Heartstart 3000 Cardio-Aid 100 Heartstream XLT	NR	Mobile phone	900 MHz GSM	No wrong decision; delay interpretation, speaker dysfunction
Stolzenberg ⁹⁾ 2002	N=3/ PC Life Pak 300 SurVivaLing First SAVE AED Zoll 1600 Defibrillator	NR	Power plant	400, 600, 1500 mG (only magnetic field)	No wrong decision
Kanz ⁹⁾ 2004	N=12/Brucker Defigard 1002 Corpuls 08/16 Dräger Cardiolog 2000 S Heartstream Forerunner HP Codemaster 100 PC FirstMedic 710 PC LifePak 300 PC LifePak 500 Laerdal Heartstart 911 Laerdal Heartstart QR 3000 Survival Link FirstSave Zoll 1600	8,640	Mobile phone	900 MHz GSM, 3 different position	No wrong decision; voice distortion
Kanz ⁷⁾ 2004	N=11/Corpuls 08/16 Dräger Cardiolog 2000 S Heartstream Forerunner HP Codemaster 100 Laerdal Heartstart 911 Laerdal Heartstart QR 3000 PC FirstMedic 510 PC LifePak 300 PC LifePak 500 SurvivaLink FirstSave Zoll 1600	5,280	Station	Train (15 kV AC) Subway (750V DC)	Wrong decision; accuracy 15 kV 86% vs 750 V 99%; Parallel 92.4% vs perpendicular 97.5%
Schlimp ¹⁴⁾ 2004	N=2/LIFEPAK 12 FRED	NR	Power line	110 kV, 15 kV 16.7 Hz	Wrong decision; more interference in human > manikin, 45° > 90°, single use pad > multiuse
Trigano ¹⁰⁾ 2006*	N=3/LifePak 20 Lifepak 20 P HeartStart XL M4735A	91	Mobile phone	900 MHz GSM, 1800 MHz PCS phone	No wrong decision; noise preventable >15 cm
Fleischhackl ⁶⁾ 2006*	N=5/AccessAED CR+ Fred Easy HS1 Responder	760	Power line, generator	electric vs magnetic, 0 vs 90, 50 vs 16.7 Hz	False positive 2.4% (18/760); motion detected 3.6% (27/760)
Fleischhackl ⁵⁾ 2006*	N=5/AccessAED CR+ Fred Easy HS1 Responder	390	Station	15 kV AC 16.7 Hz, 750 V DC	No false positive (0/390); motion detected (2/390)

(continue)

Table 2. Summary of published studies about electromagnetic interferences on AED

Author/year	No. of AED/models	Sample size	Setting	Interference setting	Result
Chalkias ⁽²⁾ 2013	N=1/Zoll AED plus	1,900	Subway	Empty, incoming train, with cell phone	Wrong decision; empty station < incoming train < with cell phone
Ku ⁽¹⁾ 2013	N=4/Lifepak CRplus PowerHeart G3+ automatic Cardiolife TEC 5521 K Hearton AED A10	320	Home appliance	Electrical mattress	Sensitivity 55-90%; accuracy 77.5-95% motion detected
Lee ⁽³⁾ 2014	N=1/Philips HeartStart MRx	NR	Hospital	Portable suction device	AED failure observed; 180 V/m measured, >1 m preventable

AED: automated external defibrillator, NR: not reported, GSM: global system for mobile communication, PC: physio-control, AC: alternating current, DC: direct current, PCS: personal communication system

* Clinical study.

다. 5 μ T와 18 μ T를 유도한 상태에서 AED의 위양성, 위음성 및 오류 등의 오작동은 관찰되지 않았다. 그러나 전기장판 위에 AED를 두고 실험을 시행한 경우 위양성 및 위음성은 없었으나, 한 개의 AED에서 정지 상태임에도 불구하고 움직임이 감지되는 것으로 방충하는 오류가 심실세동과 정상굴리듬 각각 40%에서 관찰되었다(Table 1).

2. 문헌 고찰

AED와 관련하여 전자기 간섭의 유무에 따라 생존이나 순환 회복 여부를 비교한 연구는 없었다. AED에 대한 전자기 간섭을 다룬 문헌은 인체 대상 연구 3편과 인체모형을 이용한 연구 8편이 검색되었다(Table 2). 연구에 따라 1-12개 종류의 AED가 이용되었다. 전자파의 발생 원인으로서는 고압전선 근처 3편, 기차역 3편, 휴대폰 3편, 의료기기(이동식 흡인기) 1편, 가전기기(전기장판) 1편이었다. 5편의 연구에서 AED의 오작동이 관찰되었으며 판독의 지연, 움직임의 감지, 스피커의 잡음 등 판독과는 무관한 오류가 6편의 연구에서 보고되었다.

고찰

저자들은 전기장판이 AED의 판독에 영향을 준다고 보고한 이전 연구를 바탕으로 실험실 환경에서 전기장판에서 발생하는 전자파를 측정하였다⁽¹⁾. 전자파는 전기장(단위 V/m)과 자기장(단위 μ T 또는 mG)으로 구성되나 일반적으로 전기장판과 같은 가전제품에서 발생하는 전자파는 자기장이 주성분이고 전기장의 영향은 고압전선 근처가 아닌 경우 영향이 거의 없으므로 저자들은 자기장만을 측정하였

다. 전기장판의 전원을 켜고 장판이 가열 상태일 때 5.7-6.1 μ T, 최고온도가 유지되는 상태에서 2.3-2.8 μ T 정도로 측정되었다. 이는 기존의 보고와 유사한 것인데, Kim 등⁽³⁾은 전기장판에서 나오는 전자파가 평균 5.24 μ T라고 보고하였다.

저자들은 전기장판에서 나오는 정도의 자기장을 실험실 환경에서 유발하였을 때 유사한 영향을 미치는지를 확인하고자 하였다. 하지만 전기장판에서 일반적으로 발생하는 자기장의 수준인 5 μ T 뿐 아니라 18 μ T의 자기장을 유도한 상태에서 AED를 작동시켰을 때에도 위음성이나 위양성 등의 오작동은 관찰되지 않았다. 이렇게 실험적으로 오작동을 재현하지 못한 이유는 여러 가지로 해석할 수 있다. 먼저 실험 횟수의 문제로 충분한 횟수를 실험하면 다른 결과가 나왔을 가능성이 있다. 저자들은 3개의 AED, 2개의 심전도 리듬, 4개의 전자파 환경으로 총 240회의 실험을 진행하였는데, 문헌에 따라서는 최대 8,640회까지 다양한 횟수의 실험을 진행한 경우도 있었다(Table 2). 따라서 실험 횟수가 많아졌을 때 추가적인 오작동 사례가 관찰되었을 가능성이 있다. 두 번째는 전기장판에서 발생하는 전자파와 실험적으로 유발하는 전자파의 물리적 성격이 다를 가능성이 있다. 전자파는 전기장과 자기장이 혼재되어 있는데, 본 연구에서는 자기장만 유도하여 실험을 하였으므로 전기장판에서 발생하는 미세한 전기장이 영향을 미칠 가능성을 배제할 수 없다. 실제 전기장판을 이용한 실험에서 10회의 실험에서 40%의 경우에 움직임이 감지되는 오류가 관찰된 것을 보면 실제 전기장판과 유도된 자기장의 성격이 차이가 있을 가능성이 크다.

저자들은 실험연구만으로 적절한 결론을 내리기 어려워서 전자파가 AED에 미치는 영향에 대한 문헌고찰을 시행하였다. Stolzenberg 등⁽⁴⁾은 31-160 μ T의 자기장이 발생

하는 발전소 근처에서 AED의 판독에 이상이 없음을 보고 하였다. Fleischhackl 등⁵⁾도 전기장 3-975 V/m, 자기장이 6-29 μ T 정도인 기차역에서 AED의 판독에는 이상이 없고 움직임으로 오인하는 오류만 0.5%에서 관찰되었다고 보고하였다. 그러나 Fleischhackl 등⁶⁾은 다른 연구에서 AED가 2.37% (18/760)에서 전자파의 영향으로 잘못된 제세동을 권고(위양성)하였으며, 움직임으로 오인할 가능성은 전기장보다는 자기장에서 높고, 전원 주파수가 50 Hz 보다 16.7 Hz 일 때 더 높다고 보고하였다. 즉, 전기장이나 자기장 모두 AED의 오작동을 유발할 수 있다는 것이다. Kanz 등⁷⁾은 독일의 기차역과 전철의 고압전선에서 발생하는 전기장이 AED에 미치는 영향을 연구하였는데, 직류 750 V 보다 교류 15 kV (16.7 Hz)에서 더 많은 오작동이 발생하였으며(86% vs 99%), AED 패드가 고압전선과 수직 방향일 때보다 평행일 때 오작동이 많았다고 보고하였다(97.5% vs 92.4%). 이와 같이 자기장 또는 전기장의 영향으로 AED의 오작동이 발생할 수 있는데 최근에는 AED 자체에 16.7 Hz, 50 Hz, 60 Hz 등의 전원 주파수에 의한 전자파 간섭을 필터링하는 기술이 적용되고 있다^{2,8)}. 참고로 우리나라의 경우 전철은 1.5 kV 직류, 철도는 25 kV (60 Hz) 교류 전원을 사용하고 있다.

한편 휴대폰에 의한 무선주파수 전자파는 AED의 성능에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고되었다⁹⁻¹¹⁾. 한 연구에서는 휴대폰 사용에 의해 AED 안내 방송의 잡음이 보고되었는데, 처음 전화벨이 울리기 2-4초 전부터 발생하여 벨이 울리는 동안 지속되었다고 하며, 15 cm 이상의 거리를 유지하면 예방 가능하였다고 한다¹⁰⁾. 하지만 다른 조건과 결부되는 경우 휴대폰의 전자파도 AED의 성능에 영향을 미칠 수 있다. Chalkias 등¹²⁾은 AED의 판독 오류가 2.6% (50/1,900)에서 지하철역에서 기차가 들어오는 순간 3.3%로 증가하였으며, 기차가 들어올 때 휴대폰을 사용하면 4.2%로 더욱 증가했다고 보고하였다. 주된 판독 오류는 VF에서 shock을 권고하지 않는 경우(위음성)였다고 한다. Kanz 등⁷⁾의 연구와 다르게 AED 패드가 고압전선과 평행일 때보다 수직일 때에 의미 있게 오작동이 증가하였다고 한다.

의료 장비에서 발생하는 전자파가 AED에 영향을 미치는 경우도 보고된 바 있는데, 이동식 흡인기(Laerdal LSU 4000)에서 180 V/m의 전기장이 발생되어 응급카트에 나란히 비치된 HeartStart MRx (Philips) 제세동기에 영향을 미쳐 오작동을 유발하였다고 하였다¹³⁾. AED와 같은 응급의료장비는 10 V/m의 간섭에 견딜 수 있도록 권고되고 있으며, 해당 이동식 흡인기에서 발생한 전자파는 1m 떨어진 거리에서 허용 기준에 적합한 수준으로 감소되었다고 한다. 이상의 문헌고찰을 통해서 경우에 따라 전자기 간섭에 의한 AED의 다양한 오작동이 발생 가능성을 알 수 있었다.

이번 실험은 몇 가지 한계를 가지고 있다. 먼저 인체를

대상으로 AED를 적용한 실험이 아니라는 점이다. AED에 대한 전자파 간섭을 연구할 때 인체를 대상으로 하는 경우에 마네킨에 심전도를 발생시켜 실험하는 것보다 간섭이 심하게 일어난다고 알려져 있다^{14,15)}. 둘째, AED를 평가하는 실험 횟수가 적었다는 점이다. Kerber 등¹⁶⁾은 AED를 평가할 때 필요한 표본 수를 제안하였는데, 제세동 필요 리듬의 경우 90% 이상의 민감도를 목표로 200회 이상의 실험이 요구되며, 제세동 불필요 리듬의 경우 99% 이상의 특이도를 목표로 100회 이상의 실험이 필요하다고 하였다. 저자들은 조건별로 10회씩 총 240회의 실험을 진행하였으나, 외부 기관의 협조를 얻어 실험을 진행하는 관계로 충분한 횟수의 실험을 진행할 수 없었다. 추후 다양한 전기장과 자기장을 유도한 상황에서 더 많은 횟수의 실험이 진행될 필요가 있다.

결론

저자들은 이번 실험을 통해 유도된 자기장으로 상용 중인 AED의 오작동을 재현하지는 못했으나 전기장판에서 발생하는 전자파가 움직임으로 인식될 수 있음을 확인하였다. 따라서 AED를 사용할 때 환자나 AED가 전자파를 발생할 수 있는 가전제품이나 의료장비와 가까이 위치하지 않도록 주의할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Ku JE, You JS, Joo YS, Chung HS, Chung SP, Lee HS. Accuracy of the automatic external defibrillator on an electric mattress: simulation study. *J Korean Soc Emerg Med.* 2013;24:607-14.
2. Jekova I, Krasteva V, Ménétré S, Stoyanov T, Christov I, Fleischhackl R, et al. Bench study of the accuracy of a commercial AED arrhythmia analysis algorithm in the presence of electromagnetic interferences. *Physiol Meas.* 2009;30:695-705.
3. Kim YS, Kim SY, Park JY, Choi WU. Measurement and personal exposure assessment of extremely low frequency electromagnetic fields. *Korean J Environ Health Sci.* 1997;23:55-61.
4. Stolzenberg BT, Kupas DF, Wiczorek BJ, Sole DP. Automated external defibrillators appropriately recognize ventricular fibrillation in electromagnetic fields. *Prehosp Emerg Care.* 2002;6:65-6.
5. Fleischhackl R, Singer F, Roessler B, Arrich J, Fleischhackl S, Losert H, et al. Automated external defibrillators do not recommend false positive shocks under the influence of electromagnetic fields present at public loca-

- tions. *Anesth Analg*. 2006;103:1485-8.
6. Fleischhackl R, Singer F, Nitsche W, Gamperl G, Roessler B, Arrich J, et al. Influence of electromagnetic fields on function of automated external defibrillators. *Acad Emerg Med*. 2006;13:1-6.
 7. Kanz KG, Kay MV, Biberthaler P, Russ W, Wessel S, Lackner CK, et al. Susceptibility of automated external defibrillators to train overhead lines and metro third rails. *Resuscitation*. 2004;62:189-98.
 8. Schlimp CJ, Breiteneder M, Lederer W. Heightened awareness of safety aspects concerning public access defibrillation near high-voltage power lines with 16.7-Hz alternating current. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2005;49:1396-7.
 9. Kanz KG, Kay MV, Biberthaler P, Russ W, Lackner CK, Mutschler W. Effect of digital cellular phones on tachyarrhythmia analysis of automated external defibrillators. *Eur J Emerg Med*. 2004;11:75-80.
 10. Trigano A, Blandeau O, Dale C, Wong MF, Wiart J. Clinical testing of cellular phone ringing interference with automated external defibrillators. *Resuscitation*. 2006;71:391-4.
 11. Karczmarewicz S, Janusek D, Buczkowski T, Gutkowski R, Kulakowski P. Influence of mobile phones on accuracy of ECG interpretation algorithm in automated external defibrillator. *Resuscitation*. 2001;51:173-7.
 12. Chalkias A, Koutsovasilis A, Raffay V, Sandroni C, Jaskula J, Iacovidou N, et al. Influence of electromagnetic interference on AED function in metro stations. *Int J Cardiol*. 2013;168:4260-1.
 13. Lee SM, Hyde D, Dimunge A, Grant LJ. Defibrillators can be susceptible to electromagnetic fields from adjacent portable suction units. *Resuscitation*. 2014;85:e99-100.
 14. Schlimp CJ, Breiteneder M, Lederer W. Safety aspects for public access defibrillation using automated external defibrillators near high-voltage power lines. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2004;48:595-600.
 15. Schlimp CJ, Lederer W, Breiteneder M. Influence of electromagnetic interference on the human electrocardiogram in automated external defibrillators. *Resuscitation*. 2005;66:105-6 (author reply 6-7).
 16. Kerber RE, Becker LB, Bourland JD, Cummins RO, Hallstrom AP, Michos MB, et al. Automatic external defibrillators for public access defibrillation: recommendations for specifying and reporting arrhythmia analysis algorithm performance, incorporating new waveforms, and enhancing safety. A statement for health professionals from the American Heart Association Task Force on Automatic External Defibrillation, Subcommittee on AED Safety and Efficacy. *Circulation*. 1997;95:1677-82.