

구급차 이송 도중 자동제세동기의 정확도에 대한 연구

연세대학교 의과대학 응급의학교실

조준호 · 정성필 · 정현수 · 김승호 · 이한식

Accuracy of Automated External Defibrillators During Ambulance Transport: Simulation Study

Junho Cho, M.D., Sung Pil Chung, M.D., Hyun Soo Chung, M.D., Seung Ho Kim, M.D., Hahn Shick Lee, M.D.

Purpose: Current resuscitation guideline recommends not using the automated external defibrillator (AED) in a running ambulance, because artifact arising from movement of the ambulance can interfere with rhythm analysis of AED and can simulate ventricular fibrillation (VF). This study was conducted to determine whether the AED can be operated correctly in a running ambulance.

Methods: Five AEDs were tested for their sensitivity, specificity, positive/negative predictive value, and accuracy. Each AED was connected to a manikin randomly simulating coarse and fine VF, asystole, and normal sinus rhythm, and each rhythm was analyzed 5 times by AEDs on the highway. Data about the shock recommendation given and delivery time interval from analysis to shock were collected. ECGs were also downloaded during the analysis time for a normal volunteer to search for baseline artifacts.

Results: All AEDs recommended shock delivery correctly for the simulated rhythms whether the ambulance was stopped (0 km/h) or running on unpaved road (20 km/h). The sensitivity, specificity, positive/negative predictive value, and accuracy of AEDs on the highway (100 km/h) were similar to those obtained in previous studies on AED performance in pre-hospital settings. The recorded ECG

rhythm of a volunteer in a running car showed no baseline artifacts.

Conclusion: All AEDs recommended shock delivery correctly in a running ambulance. Therefore, the current recommendation of not using the AED on a running ambulance should be reconsidered.

Key Words: Automated external defibrillator, Defibrillation, Transportation, Ambulances

Department of Emergency Medicine, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

서 론

신속한 제세동은 생존사슬의 중요한 고리이다. 최근 국내에서도 다중이용시설 등에 제세동기를 설치하도록 하는 응급의료법 개정안이 통과되어 병원전 단계에서의 제세동 시행이 증가되리라 기대된다. 그러나 일반인들에 대한 자동제세동기 사용 교육이 부족하다는 점과 대부분의 소방 구급차에 이미 자동제세동기가 구비되어 있다는 점을 고려할 때, 병원전 단계에서의 제세동은 주로 구급대원들에 의해서 시행될 것으로 생각한다. 공용 심폐소생술 지침에서는 현장에서 5~10분간의 자동제세동기를 사용한 심폐소생술을 권장하고 있으나, 아직은 보호자들이 현장 처치보다는 병원으로의 빠른 이송을 원하는 경우에 이를 무시하기 어려운 것이 현실이다. 따라서 아직 현장에서 시행되는 병원전 제세동의 빈도는 20% 이내로 높지 않으며 지역적인 편차를 보이고 있다¹⁾.

구급차 이송 중에 자동제세동기를 부착할 경우 구급차의 움직임이 리듬 평가를 방해하고 심실세동과 비슷한 인위적 리듬이 발생할 가능성 때문에 구급차 운행을 멈추고 시동을 끈 상태로 적용하도록 권장하고 있다^{2,3)}. 그러나 달리는 구급차 안에서 자동제세동기를 사용하는 것이 실제로 부정확한 지에 대한 연구는 없다. 유사한 상황으로 구멍보트 안이나 대형 상선의 진동이 심한 엔진 근처에서 자동제세동기를 적용한 연구 결과는 그러한 상황에서 발생하는 진동

책임저자: 정 성 필
서울특별시 강남구 언주로 612
영동세브란스병원 응급의학과
Tel: 02) 2019-3030, Fax: 02) 2019-4820
E-mail: emstar@yuhs.ac

접수일: 2008년 6월 10일, 1차 교정일: 2008년 7월 14일
게재승인일: 2008년 8월 18일

이 자동제세동기 작동과 리듬 평가, 제세동에 크게 영향을 미치지 않는다고 한다^{4,5)}.

따라서 연구자들은 이송중인 구급차 안에서 자동제세동기를 사용했을 때 자동차의 진동이 자동제세동기의 정확도에 미치는 영향을 알아보고자 본 연구를 계획하였다. 연구가설은 “구급차 이송 도중 발생하는 진동은 자동제세동기의 심전도 판독에 영향을 미치지 않는다”라는 것이다.

대상과 방법

1. 자동제세동기 종류와 실험조건

국내 자동제세동기 판매업체 가운데 6곳에 연구 내용을 알리고 자동제세동기 및 소모품의 제공을 요청하였다. 한 곳을 제외한 업체가 이에 응하였으며 Lifepak CRplus (Medtronic, Minneapolis, MN), Heartstart FRX (Philips, Andover, MA), iPAD (CU medical, Wonju, Korea), G3pro (Cardiac science, Bothell, WA), Cardiolife (Nihon Kohden, Tokyo, Japan)의 5개 자동제세동기를 제공받아 연구에 이용하였다. Lifepak CRplus는 완전 자동이었고, 나머지는 모두 반자동 자동제세동기였다. 구급차는 본원에서 보유하고 있는 일반 구급차(스타텍스, 현대자동차)를 사용하였다. 구급차 침대에 인체모형 (Ambu Cardiac Care Trainer System, Ambu, Copenhagen, Denmark)을 싣고 자동제세동기 부착포를 부착한 다음 ECG box (Ambu)를 이용하여 거친 심실세동 (coarse ventricular fibrillation), 가는 심실세동 (fine ventricular fibrillation), 무수축, 정상굴리듬 (normal sinus rhythm)의 4종류의 리듬을 발생시켰다. 운행 코스는 고속도로 주행의 경우 하남-호법-신갈-양재 구간을 이용하였고, 정지 시와 비포장도로 주행은 남한산성 일대에서 시행하였다. 총 주행거리는 137 km였다. 모든 경우에 사이렌은 울리지 않았다. 자동제세동기 부착포는 각 자동제세동기 마다 정지 및 비포장 주행 시 1개, 고속도로 주행 시 1개를 사용하였다.

자원자 실험은 본 실험과 별도로 이루어졌으며, 승용차 (마티즈, GM 대우) 뒷좌석에서 심전도를 눈으로 확인할 수 있는 모니터가 부착된 CU-ER3 (CU medical, Wonju, Korea)를 이용하여 시내 도로 주행 (60 km/h) 중에만 시행하였다.

2. 구급차 주행시 자동제세동기의 적용

구급차의 시동을 켜고 정지된 상태 (0 km/h)와 비포장도로 주행시 (20 km/h)에 각각 4종류의 리듬을 1회씩 적용하였고, 고속도로 주행시 (100 km/h)에는 5회씩 20회를

적용하였다. 구급차에는 기사 이외에 연구자 3명이 탑승하였으며 각각 자동제세동기 조작, 각 리듬 발생, 제세동 시간 측정 및 결과 기록을 담당하였다. 리듬 발생은 미리 제공된 무작위 순서표에 의해서 시행되었고, 결과 측정 및 기록자는 리듬을 모른 상태에서 시행되었다. 각각의 경우에 자동제세동기가 쇼크를 권고하는지의 여부와 분석 시작에서 쇼크의 실행까지의 시간을 측정하였다. 각 자동제세동기별로 인체모형에 부착포를 부착하고 연결기를 연결한 상태로 자동제세동기의 전원을 켜다. 전원을 켜는 순간부터 제세동 버튼에 불이 들어오는 순간까지의 시간을 초시계를 이용하여 측정하였다. 심폐소생술을 지시하거나 환자의 상태를 확인하라는 메시지와 함께 60초 이상 제세동을 권장하지 않는 경우는 제세동 불필요로 분류하고 시간을 기록하지 않았다. 각각의 실험 후에는 전원을 끄고 5초간 전지를 분리하여 자동제세동기를 초기화 한 후에 다음 실험을 진행하였다.

3. 자료의 분석

각각의 도로 주행 상태와 자동제세동기별로 심전도에 따라 제세동 권고 여부에 대한 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도를 계산하였다. 제세동이 시행된 경우 제세동까지의 시간을 평균±표준편차로 표시하였다. 통계 프로그램은 SPSS를 이용하였으며 0, 20, 100 km/h 간의 분석시간의 비교는 Kruskal Wallis 검정을 시행하여 p 값이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 의미 있다고 판정하였다. Kruskal Wallis 검정에서 의미가 있는 경우에는 Mann Whitney U test로 두 군 간의 사후검정을 시행하였으며, p 값이 0.016 (0.05/3) 이하인 경우에 통계적으로 의미 있다고 판정하였다.

결 과

1. 주행 상태에 따른 자동제세동기의 제세동 권고 여부

구급차의 시동을 켜고 정지된 상태 (0 km/h)에서 5종류의 자동제세동기에 4종류의 리듬을 각각 1회씩 적용하여 20번의 모의실험을 하였고, 비포장도로 주행 시 (20 km/h)에도 정지 시와 마찬가지로 20번의 모의실험을 하였다. 고속도로 주행 시 (100 km/h)에는 5종류의 제세동기에 4종류의 리듬을 각각 5회씩 20회를 적용하여 100번의 모의실험을 시행하였다. 결과적으로 총 140번의 모의실험을 하였고 이 가운데 9번에서 분석을 실패하였다. 이 9번의 분석 실패는 모두 고속도로 주행 시에만 발생하였고 8번은 가는 심실세동을 쇼크 가능하지 않은 리듬으로 분석한 경우였다. 정상굴리듬을 60초 동안 분석을 하지 못한

경우가 1번 있었다.

정지 시(0 km/h) 20번의 모의실험과 비포장 도로(20 km/h)에서 시행한 20번의 모의실험에서 모든 자동제세동기가 쇼크 가능한 리듬에서는 쇼크를 권고하였고, 쇼크 가능하지 않은 리듬에서는 쇼크를 권고하지 않았다(민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도 모두 1.0). 고속도로 주행(100 km/h) 시에는 각 자동제세동기의 쇼크 가능한 리듬에 대한 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도는 Table 1과 같았다.

2. 제세동까지의 시간

주행 상태에 따른 각 자동제세동기의 제세동 실행까지의 평균 시간은 26~32초가 소요되었으며 Table 2와 같았다. 정지시 제세동 실행까지의 시간을 각 장비의 기준으로 간주할 때 각 장비 사이의 차이는 없었다($p=0.360$).

iPAD는 주행 상태에 따라 제세동 시행까지의 시간이 통계적으로 유의하게 차이가 있었으며, 사후 분석에서 정지시와 고속도로 주행 사이에 통계적 차이가 있었다($p=0.005$). G3Pro는 주행 상태에 따라 제세동까지의 시간이 차이가 있었으나, 사후 분석에서는 각 주행 상태에 따라 차이가 없었다. 리듬별로 주행 상태에 따른 제세동까지의 시간은 차이가 없었다(Table 3).

3. 자원자 실험 결과

자원자에게 자동제세동기를 부착하고 60 km/h로 아스팔트 도로를 주행하는 도중에 10회의 분석을 시행한 결과 모두 제세동이 필요하지 않다고 판독하였다. 분석 중에 기록된 심전도의 기저선 인공음영(artifact)은 Fig. 1과 같았다.

Table 1. Performances of AEDs in ambulance during highway drive

	Sensitivity	Specificity	PPV*	NPV [†]	Accuracy
LifePak CRplus	0.90	1.00	1.00	0.91	0.95
Heartstart FRX	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
iPAD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
AED G3pro	0.70	1.00	1.00	0.77	0.85
Cardiolife	0.70	1.00	1.00	0.77	0.85
Total	0.84	1.00	1.00	0.86	0.92

* PPV: positive predictive value, [†] NPV: negative predictive value

Table 2. Time to shock delivery by AEDs on the different road condition

	Total	paved road		unpaved road (20 km/h, n=10)	p-value
		0 km/h (n=10)	100 km/h (n=42)		
Lifepak CRplus	27.1 ± 4.2	28.5 ± 2.1	25.7 ± 4.1	32.0 ± 1.4	0.155
Heartstart FRX	26.5 ± 4.2	26.0 ± 5.7	25.0 ± 0.5	33.5 ± 7.8	0.054
iPAD	28.1 ± 2.6	22.5 ± 3.5	29.1 ± 0.3	29.0 ± 1.4	0.038*
AED G3pro	31.9 ± 3.9	29.5 ± 0.7	34.4 ± 1.1	25.5 ± 2.1	0.017 [†]
Cardiolife	28.0 ± 2.8	24.0 ± 5.7	28.6 ± 0.8	30.0 ± 0.6	0.055
Total	28.2 ± 3.9	26.1 ± 4.1	28.3 ± 3.7	30.0 ± 4.0	0.194

* P value between 0 km/h and 100 km/h was 0.005.

[†] P value between groups was not significant by the post hoc Mann Whitney U test.

Table 3. Time to shock delivery by the rhythm on the different road condition

Rhythm	Total	paved road		unpaved road (20 km/h)	p-value
		0 km/h	100 km/h		
Coarse VF*	28.8 ± 4.3	26.0 ± 4.7	28.7 ± 3.9	31.8 ± 4.5	0.192
Fine VF	27.5 ± 3.4	26.2 ± 4.0	27.6 ± 3.6	28.2 ± 2.7	0.759
Total	28.2 ± 3.9	26.1 ± 4.1	28.3 ± 3.7	30.0 ± 4.0	0.194

* VF: ventricular fibrillation

고 찰

자동제세동기는 심전도 신호를 주파수, 진폭, 파형 등 다양한 방법을 통하여 분석한다. 최근의 자동제세동기는 다양한 방법으로 잡음을 걸러내게 되어 부착포 접촉이 불량하거나, 라디오 전파 또는 주파수 50~60 Hz인 간섭 등을 구별할 수 있다⁶⁾. 기존의 자동제세동기에 관한 여러 연구나 문헌에서는 자동제세동기를 사용하는 사람이나 의료 현장에 따른 자동제세동기의 리듬 분석은 81~94% 민감도와 90~100% 특이도를 보였다⁷⁻¹⁰⁾. 그러나 지금까지는 구급차에서 자동제세동기를 사용할 때 차를 멈추고 시동을 끈 상태에서 사용할 것을 권고하고 있다. 자동차를 운행할 때 발생하는 진동이나 엔진에 의한 진동이 자동제세동기의 분석에 영향을 미칠 수 있기 때문이다^{2,3)}. 그러나 이번 연구에서 자원자에게 자동제세동기를 적용하고 도로를 주행한 결과 제세동기는 기저선의 흔들림이 거의 없이 정확히 작동함을 알 수 있었다. 차량 운행으로 인한 진동은 심전도에 거의 영향을 미치지 않았으며 가슴에 부착된 자동제세동기 부착포를 손으로 흔들었을 때에는 심전도 상에 확인 가능한 인공음영이 반영됨을 알 수 있었다(Fig. 1). 이는 바다에서 구명보트를 운행한 연구와 대형 상선의 진동이 심한 엔진 옆에서 시행한 연구의 결과와 유사한 것이다^{4,5)}. 그러므로 다른 사람이 환자에게 접촉하여 흉부 압박과 같은 인위적인 움직임을 만들지 않는다면 주행 중인 구급차 안에서도 자동제세동기를 사용할 수 있으리라 생각한다.

이번 연구에서 계산한 각 자동제세동기의 주행 중 민감도, 특이도, 양성예측도, 음성예측도, 정확도는 기존의 진동이 없는 상태에서 자동제세동기의 민감도와 특이도와 비교하여 자동제세동기 G3pro와 Cardiolife 기계의 민감도가 70%였던 것을 제외하고는 차이가 없었다. 물론 민감도, 특이도가 모두 좋아야 하겠지만 진동에 의해 리듬을 잘못

분석하여 불필요한 전기충격을 가하게 되거나 흉부압박을 시행하지 않는 시간이 늘어나는 것을 막기 위해서는 특이도가 더 중요할 것이다. 그러므로 주행 중 자동제세동기의 특이도가 한 종류만 90%이고 나머지는 모두 100%였다는 것을 고려할 때 자동차 운행으로 인한 진동은 자동제세동기 분석에 큰 영향을 미치지 않는다고 생각한다. 정확한 분석을 시행하지 못한 경우는 총 9번 있었는데, 8번은 가는 심실세동을 쇼크 가능하지 않은 리듬으로 분석한 경우였다. 또한 정상굴리듬을 60초 동안 분석을 하지 못한 경우가 1번 있었는데, 자동제세동기에서는 “환자 상태를 확인하세요”가 아니라 “분석 진행 중입니다”라는 메시지가 계속 반복되었으므로 주행 중의 움직임에 의한 것은 아닌 것으로 생각하였다.

시동을 걸고 움직이지 않는 구급차는 진동이 적으므로 적용된 제세동기가 예상대로 정확하게 작동되었다. 그러나 예상과는 달리 비포장도로에서 시행된 제세동기 또한 정확한 결과를 보였다. 본 실험에서 비포장도로에서는 속력을 내기 어려워 20 km/h 정도의 저속으로 운행하였으며 이것이 진동을 제한한 것으로 생각한다. 또한 자원자 실험에서도 흔들리는 상황을 가정하여 실험자의 자세를 변동시켜 보았으나 그것으로 인한 심전도의 흔들림은 관찰되지 않았으며, 가슴에 부착된 자동제세동기 부착포를 흔들었을 때 2~3 mm 정도의 인공음영이 관찰되었다(Fig. 1). 따라서 가슴에 부착된 부착포가 흔들릴 정도의 진동이 아니라면 자동제세동기의 분석에 영향을 미치지 않을 것으로 생각한다.

또한 각 자동제세동기의 리듬 분석에서 제세동까지의 시간은 iPad 기기에서만 고속도로 주행 시 통계적으로 의미 있게 시간이 길어졌다. 나머지 네 가지 기기는 도로 조건에 따라 제세동까지의 시간이 달라지지 않았다. 길어진 iPad의 경우에도 약 평균 6.6초의 차이 정도밖에 없어서 차량 운행 중에 자동제세동기 사용을 하지 말라는 권고에 대해 재검토를 해야 할 것이다. 본 실험에 사용된 자동제세동기는 2006~2008년도에 생산된 기종들이며, 소방에 보급되어 있는 자동제세동기 보다 신형일 것으로 생각되나 소방에 자동제세동기가 보급되기 시작한 것이 오래되지 않았으므로 성능의 차이가 크지는 않을 것으로 생각한다.

이번 연구의 제한점은 다음과 같다. 첫 번째, 한 종류의 구급차에서 모델별로 한 개의 자동제세동기를 대상으로 실험한 연구이므로 모든 자동제세동기에 일반화 할 수 없다. 특히 인체모형에는 가슴의 전극에 자동제세동기 부착포를 붙이므로 실제 환자의 가슴에 부착하는 것과는 다른 결과를 가져올 가능성이 있다. 이를 확인하기 위해 자원자의 가슴에 자동제세동기를 부착하여 비교하였으나 자원자는 정상 심전도의 경우만을 실험할 수 있다는 한계가 있었다. 두 번째는 자동제세동기 별로 똑같은 주행 상태에서 실험을 시행하지 못했다. 주행 중 각 자동제세동기별로 20회의 분석을 시행하였으나 같은 고속도로라도 구간마다 도로 상태



Fig. 1. Examples of downloaded ECG connected to a volunteer in a moving car.

A shows no baseline artifacts. B shows baseline artifacts when shaking the AED patch on the chest by hands

가 다를 수 있다는 점이 실험에 오차를 일으킬 수 있다. 이러한 한계에도 불구하고 본 연구는 구급차 이송 도중 발생하는 진동은 자동제세동기의 심전도 판독에 영향을 미치지 않는다는 가설을 확인할 수 있었다. 추후 충분한 수의 심정지 환자를 대상으로 구급차 이송 도중 자동제세동기를 적용하여 정확한 판독을 시행하는지를 검증하는 연구가 시행되어야 할 것으로 생각된다.

결론

운행 중인 구급차 안에서 자동제세동기를 사용했을 때 높은 특이도를 보여 제세동 하지 않을 리듬을 정확히 구별할 수 있었다. 따라서 운행 중인 구급차 안에서 자동제세동기의 사용을 제한하는 현재의 소생술 지침에 대한 재검토가 필요하다.

참고문헌

1. Seoul Metropolitan City. Report of 2007 hospital-based cardio-cerebrovascular disease registry and surveillance project. 2008.
2. European Resuscitation Council. Part 4: the automated external defibrillator: key link in the chain of survival. *Resuscitation* 2000;46:73-91.
3. Korean Association of Cardiopulmonary Resuscitation. Development and Distribution of Common CPR Guideline. Koonja; 2006. p.69.
4. de Vries W, Bierens JJ, Maas MW. Moderate sea states do not influence the application of an AED in rigid inflatable boats. *Resuscitation* 2006;70:247-53.
5. Neubauer B, Green WG. Automated external defibrillators on board merchant vessels?: preliminary report article for discussion. *Int Marit Health* 2005;56:78-89.
6. Stults KR, Brown DD, Cooley F, Kerber RE. Self-adhesive monitor/defibrillation pads improve prehospital defibrillation success. *Ann Emerg Med* 1987;16:872-7.
7. Clifford AC. Comparative assessment of shockable ECG rhythm detection algorithms in automated external defibrillators. *Resuscitation* 1996;32:217-25.
8. Cummins RO, Eisenberg M, Bergner L, Murray JA. Sensitivity, accuracy, and safety of an automatic external defibrillator. *Lancet* 1984;2:318-20.
9. Macdonald RD, Swanson JM, Mottley JL, Weinstein C. Performance and error analysis of automated external defibrillator use in the out-of-hospital setting. *Ann Emerg Med* 2001;38:262-7.
10. Stults KR, Brown DD, Kerber RE. Efficacy of an automated external defibrillator in the management of out-of-hospital cardiac arrest: validation of the diagnostic algorithm and initial clinical experience in a rural environment. *Circulation* 1986;73:701-9.